

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉOLOGIE ET GÉNIE GÉOLOGIQUE

PAR
ALIZÉE LIENARD, M.Sc

TYPOLOGIE DES INTRUSIONS PORPHYRIQUES ET
RELATION AVEC LA DÉFORMATION DANS LE SECTEUR
EST DE VAL-D'OR

2018

RÉSUMÉ

Le secteur d'étude est situé à environ 2 km à l'est de la ville de Val-d'Or dans le prolongement oriental du gisement aurifère Sigma-Lamaque. Il se compose de roches volcaniques andésitiques de la Formation de Val-d'Or dans lesquelles se retrouvent plusieurs phases intrusives de géométrie et de compositions variables, en lien avec plusieurs couloirs de déformation ductile. La zone d'étude consiste en cinq affleurements décapés mécaniquement. Les objectifs principaux de cette étude sont de caractériser les différentes unités intrusives, poser les relations chronologiques entre celles-ci, de préciser la nature de l'altération et finalement établir le synchronisme entre ces diverses intrusions et la déformation régionale.

Outre les dykes synvolcaniques de gabbro, la zone d'étude comprend : 1) des dykes de porphyres feldspathiques (PF) se présentant sous plusieurs variétés ; 2) plusieurs phases (dykes et filons-couches) de diorite de faciès lamprophyre (DFL) ; et 3) des dykes de diorite à phénocristaux d'amphibole (DPA). Ces différentes intrusions sont communément altérées en chlorite-biotite, épidote et séricite.

Quatre types de dykes de porphyre feldspathique d'épaisseurs métrique à localement multimétrique sont reconnus. Le PF1 est orienté E-W et montre une affinité tholéiitique, le PF2 est E-W et transitionnel, le PF3 et le PF4 sont calco-alcalins mais le premier est orienté NE tandis que le second est SE.

Les DFL forment deux filons-couches orientés E-W, un interprété comme faisant 150 m par 30 m d'épaisseur et un autre de 600 m par 100 m. Les dykes de PF1 et PF2 sont recoupés par la phase DPL alors que le PF4 recoupe ce dernier faciès. Quelques dykes de DFL ont une direction NE-SW, tout comme les dykes plus tardifs de DPA, lesquels sont d'épaisseur multimétrique à métrique.

Plusieurs couloirs de déformation sont présents et affectent l'ensemble des phases intrusives à divers degrés. Ils sont d'épaisseur décimétrique à métrique, de direction généralement E-W avec un pendage abrupt. Le couloir situé le plus au nord se distingue avec une direction NW-SE.

Si la présence de veines de quartz tourmaline subhorizontales est compatible avec une composante de raccourcissement, la zone d'étude se distingue par des linéations en composante direction (subhorizontales) et avec des indicateurs de cisaillement dénotant un mouvement de décrochement dextre. La composante de mouvement horizontale dextre du secteur contraste avec les mouvements inverses reconnus dans les cisaillements aurifères des mines Sigma-Lamaque. L'analyse des relations chronologiques et de la structurale permet de proposer un mode de mise en place séquentielle des différentes phases intrusives par rapport aux événements de déformation. Les roches volcaniques ont enregistré une déformation significative concentrée au sein de plusieurs couloirs de déformation de direction E-W alors que les dernières phases (DFL et DPA) sont globalement moins déformées et sont interprétées se mettre en place tardivement, probablement durant la phase de décrochement.

REMERCIEMENTS

Dans un premier temps, je tiens à remercier mon directeur Réal Daigneault pour m'avoir fait confiance dans ce projet. Merci Réal, d'avoir été un soutien à tous moments, de m'avoir poussé jusqu'au bout de ce projet même quand je pensais ne plus en voir la fin. Merci également à ma codirectrice Lucie Mathieu, pour m'avoir montré que je pouvais réussir. Merci pour le soutien, pour l'écoute, pour les discussions, pour toutes les nouvelles choses que j'ai apprises. Merci également à Pierre Pilote et au ministère des Ressources naturelles pour le soutien financier et le soutien technique. Merci Pierre pour ta patience dans mon apprentissage de la géologie et pour ce bel été 2016 en Abitibi. Merci de m'avoir laissé cette chance. Un grand merci aussi au professeur Damien Gaboury pour ses commentaires et corrections qui m'ont permis de me dépasser. Un très grand merci à Integra Gold (Eldorado Gold) pour m'avoir soutenu dans ce projet à l'été 2017 et pour avoir mis à ma disposition tout ce qui était possible. Merci d'avoir donné une nouvelle facette à mon travail. Un grand merci à Luc Théberge et Jacques Simoneau pour m'avoir soutenu dans les moments de doute. Merci à toute l'équipe de géologues et de techniciens, d'avoir été des amis et des mentors et de m'avoir tant appris. Merci d'avoir été une famille pour moi, je pense surtout à « maman » Suzanne et « Papa » Jean-Luc et surtout mes fidèles compagnons d'été : Gooby, Yannick, Alex et Mélissa. Merci à ma famille d'adoption de Chicoutimi, Claude et Hélène, pour l'aide à l'adaptation et pour toujours s'être occupé de moi. Enfin et pas des moindres, je tiens à remercier mes parents et mon frère, sans qui ces 4 années à Chicoutimi n'auraient pas pu être possibles. Merci d'avoir soutenu toutes mes décisions, de m'avoir soutenue tout court. Merci de m'avoir envoyé tout cet amour. Un merci spécial à mon conjoint Vincent, qui a su me faire rire même dans les pires moments, m'a soutenue autant qu'il le pouvait, a compris mes choix quelquefois « incompréhensibles » et surtout subi mes humeurs difficiles. Merci à tous mes amis qui mettent toujours un peu de soleil dans ma vie : Juliette, Meganne, Marine pour tous nos soupers, sorties et soirées de filles, Thomas, Tague, Julien, Ludivine, Quentin, Charley, Rémi, Georgia, Ben et tellement d'autres encore au Québec et ailleurs.

Table des matières

RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES FIGURES.....	viii
CHAPITRE I.....	1
1.1-INTRODUCTION	1
1.2-PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE	2
1.2.1-Modèle « Or orogénique »	2
1.2.2-Évolution de la déformation dans la Sous-province de l’Abitibi	4
1.2.3-Relations entre les intrusions et les failles régionales	5
1.2.4-Lamprophyres	9
1.3-PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE	11
1.3.1-Environnement des Mines Sigma-Lamaque	11
1.3.2-Problématique du secteur d’étude.....	13
1.4-OBJECTIFS	15
1.5-MÉTHODOLOGIE	15
1.5.1-Levés de terrain.....	16
1.5.2-Travaux de laboratoire	18
1.6- La Sous-province de l’Abitibi	21
1.7-LE SECTEUR D’ÉTUDE	24
CHAPITRE II	27
2.1-Introduction.....	27
2.2. Unités volcaniques	32
2.2.1-Andésite coussinée.....	32
2.2.2-Tuf intermédiaire	34
2.3-Unités intrusives	38
2.3.1-Gabbro	38
2.3.2-Diorite de faciès lamprophyre (DFL)	39
2.3.3- Porphyres feldspathiques (PF)	36
2.3.6-Diorite à phénocristaux d’amphibole (DPA)	41
2.3.8. Brèche intrusive	44
2.3.9. Aplite.....	48

2.4-Synthèse	50
CHAPITRE III	54
3.1-Introduction.....	54
3.2-Résultats lithogéochimiques	55
3.2.1-Roches volcaniques et gabbro	55
3.2.2-Roches intrusives	57
3.3-Bilans de masse.....	60
3.3.1-Roches volcaniques	61
3.3.2-Roches intrusives	62
3.3.3-Précurseurs.....	65
3.4-Calcul des minéraux normatifs	68
3.5-Synthèse	72
CHAPITRE IV	73
4.1-Introduction.....	73
4.2-Plan de stratification S0	73
4.2.1-Laves coussinées.....	73
4.2.2- Volcanoclastite	73
4.3-Fabrique structurale	73
4.3.1-Schistosité principale Sp.....	73
4.3.2-Linéation d'étirement	76
4.3.3-Clivage de crénulation	77
4.4-Analyse de la déformation	78
4.4.1-Indice d'anisotropie planaire	78
4.4.2-Description des microstructures	78
4.5-Distribution de la déformation.....	93
4.6-Indicateurs de cisaillement	96
4.8 - Synthèse	98
CHAPITRE V	100
5.1-Typologie des intrusions porphyriques.....	100
5.2-Déformation.....	103
5.3-Interprétation du DFL	105
5.4-Chronologie des événements	106
CHAPITRE VI.....	109

Liste des références	112
ANNEXES	118
Annexe 1 : Géologie des affleurements	119
Annexe 2 : Localisation des échantillons.....	123
Annexe 3 : Résumé des lames minces	128
Annexe 4 : Résultats de la géochimie	137
Annexe 5 : Géologie structurale (tableau, carte et planches).....	143

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Principaux types de minéralisations aurifères (d'après Goldfarb et al., 2001).	2
Figure 1.2 : Relation entre les gîtes aurifères et les structures crustales (Rafini, 2012).	3
Figure 1.3 : Évolution des zones de cisaillements et des veines contemporaines liées à une compression orientée N-S (Robert et Brown, 1986a).	4
Figure 1.4 : Comportement des linéations d'étirement dans les failles de la Sous-province de l'Abitibi (d'après Daigneault et al., 2004)	5
Figure 1.5 : Modèle pour l'ascension et la mise en place de magma en contexte de transpression. a) État de contrainte dans la zone de cisaillement : cisaillement simple dans la zone de cisaillement et cisaillement pur dans les zones adjacentes. L'orientation de la contrainte minimale permet l'ouverture de fractures horizontales. b) Après leurs mises en place, les intrusions et les laves encaissantes sont déformées par la poursuite des mouvements de compression. (Figure tirée de Rosenberg, 2004)	6
Figure 1.6 : Chronologie de mise en place des principales phases de magmatismes, de déformations et de minéralisations en Abitibi (figure modifiée de Robert, 2001).	7
Figure 1.7 : Lien spatial entre la minéralisation aurifère et les intrusions dans le gisement Sigma. L'abondance de dykes crée un milieu favorable à la formation de zone de cisaillements et de veines d'extension qui permettent la déposition de l'or (d'après Robert et Brown, 1986a).	8
Figure 1.8 : Localisation de lamprophyres identifiés dans la littérature et par le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, dans la Sous-province de l'Abitibi (compilation de Mathieu et al., 2017).	10
Figure 1.9 : Géologie simplifiée de la mine Sigma (Robert et Brown, 1986a). L'étoile rouge indique la localisation du secteur d'étude.	12
Figure 1.10 : Géologie de la partie centrale de la propriété Lamaque (tirée de Daigneault et al., 1983)	13
Tableau 1.1 : Échelle d'anisotropie planaire (Daigneault, 1996).	17
Tableau 1.2 : Caractéristiques pétrologiques des 4 variétés de lamprophyre.	19
<i>Or=feldspaths alcalins ; pl = plagioclase (modifié de Le Maitre et al., 2002; classification IUSG).</i>	19
Figure 1.11 : Confection des lames minces orientées (Daigneault, 1991).	21
Figure 1.12 : Géologie simplifiée de la Province de Supérieur (figure modifiée MERN (2012).	22
Figure 1.13 : Géologie simplifiée de la Sous-province de l'Abitibi (d'après Daigneault et al., 2002).	23
Figure 1.14 : Localisation du secteur d'étude par rapport à la ville de Val-d'Or (Tirée de Google Map).	24
Figure 1.15 : Localisation du secteur d'étude (figure modifiée de Pilote et al., 2000).	25
Figure 1.16 : Contour des affleurements du secteur Val-d'Or Est.	26
Figure 1.17 : Carte géologique de l'affleurement C étudié par Scott (2005). A) Affleurement complet. (Notez le nord vers le bas) ; B) Agrandissement de la partie centrale, avec les lithologies volcanoclastiques.	26

Figure 2.1 : Cartographie des affleurements Val-d'Or Est.	28
Figure 2.2 : Grossissement de l'affleurement B.	29
Figure 2.3 : Localisation des échantillons. La légende est la même qu'à la figure 2.1. ..	30
Figure 2.4 : Localisation des échantillons sur l'affleurement B.	31
Figure 2.5 : Photographie d'un coussin. La pointe du crayon indique le nord et sert d'échelle (affleurement A).	32
Figure 2.6 : Photographies de lames minces en lumière polarisée, lave coussinée. A) Quartz (Qz) en remplissage d'amygdales avec chlorite (Chl) associée. B) Séricite (Sér) avec direction préférentielle, l'épidote (Épi) recoupe les autres minéraux. C) Plagioclases (Plg) pseudomorphosés par la séricite. D) L'épidote recoupe les autres minéraux en place. Les photographies A, C et D présentent l'échantillon A4 et la photographie B présente l'échantillon C4 (Figure 2.3).	33
Tableau 2.1 : Synthèse des observations pétrographiques pour les roches volcaniques...	34
Figure 2.7 : Photographies des volcanoclastites présentent sur l'affleurement A. (A) = tuf à lapilli et à blocs; (B) tuf à lapilli; et (C) tuf turbiditique. Le stylo et le marteau indiquent le nord et servent d'échelle.	35
Figure 2.8 : Photographies de lames minces du tuf intermédiaire en lumière naturelle et lumière polarisée. A) et B) Matrice riche en plagioclases (Plg) pseudomorphosés par la séricite (Sér), présence également de chlorite (Chl) ayant une légère direction préférentielle. C) et D) Fragments riches en épidotes (Épi). Les photographies présentent l'échantillon A3 (Figure 2.3).	36
Tableau 2.2 : Synthèse des observations pétrographiques pour les roches volcanoclastiques.	37
Figure 2.9 : Gabbro (délimité en jaune) encaissé dans des roches volcaniques coussinées (A) et dans des tufs (B).	38
Figure 2.10 : Photographie d'une lame mince d'un dyke de gabbro en lumière polarisée. On note la présence de chlorite (Chl) et de séricite (Sér). La photographie présente l'échantillon A5 (Figure 2.3).	39
Tableau 2.3 : synthèse des observations pétrographiques pour le gabbro (N=2)	39
Figure 2.11 : Photographies de diorite de faciès lamprophyre DFL1. Les photos A) et C) montrent des xénolites (entourés en jaune) (affleurement B); B) veines de quartz; et D) xénolithe et veine de quartz-tourmaline.	41
Figure 2.12 : Photographies de lames minces de dykes de DFL1 en lumière naturelle et en lumière polarisée. A), B), C) et D) Épidote (Épi) est associée à la chlorite (Chl) et à la biotite (Bo) et semble recouper les minéraux. E) et F) Absence des phénocristaux d'amphibole et présence de phénocristaux de plagioclases (Plg). Les phénocristaux sont pseudomorphosés par la séricite (Sér) et il y a présence d'une direction préférentielle avec la chlorite (Chl) et la biotite (Bo). Les photographies A, B, C et D présentent l'échantillon B1 et les photographies E et F présentent l'échantillon E3 (Figures 2.3 et 2.4).	32
Figure 2.13 : Photographies de lames minces de l'unité DFL2 en lumière naturelle et en lumière polarisée. A) et B) Phénocristaux d'amphiboles (Amph) et de biotite (Bo) au travers d'une matrice de quartz (Qz) et plagioclases (Plg) pseudomorphosés par de la séricite (Sér). C) et D) Présence de minéraux opaques (Opaq) et de cristaux de carbonates (Cb) en remplissage d'amygdales. Les photographies A, B, C et D présentent l'échantillon B3 (Figure 2.4).	34

L'unité de DFL3 est présente sur l'affleurement B (Figure 2.2) sous la forme de dykes submétriques de direction NE à localement E-W. Le contact avec le DFL1 est diffus et difficile à délimiter. Il est très semblable à l'unité DFL1 mais le DFL3 possède une plus grande quantité de minéraux mafiques et de nombreux xénolithes de DFL1. L'unité est de couleur verdâtre et contient des phénocristaux vert foncés. La granulométrie est moyenne.

.....	34
Figure 2.14 : Photographies de lames minces du dyke de DFL3 en lumière naturelle et en lumière polarisée. A) et B) Phénocristaux d'amphiboles (Amph) dans une matrice d'amphiboles, de chlorite-biotite (Chl+Bo) et de quartz (Qz) en remplissage d'amygdales. Les photographies A et B présentent l'échantillon B8 (Figure 2.4).	35
Tableau 2.4 : synthèse des observations pétrographiques pour l'unité de DFL.	36
Figure 2.15 : Porphyre feldspathique (FP). (A) Photographie du dyke PF1 situé sur l'affleurement A. (B) Photographies du dyke PF2 situé sur l'affleurement A. Notez la taille des phénocristaux de feldspaths. (C) Photographie du dyke PF4 situé sur l'affleurement E.	38
Figure 2.16 : Photographies de lames minces de dykes de PF en lumière naturelle et en lumière polarisée. A), B) et E) Phénocristaux de plagioclase (Plg) pseudomorphosés par la séricite (Sér). La séricite et la chlorite marquent une direction préférentielle. L'épidote (Épi) semble recouper tous les autres minéraux. C) et D) Minéraux opaques (Opaq) en association avec du quartz (Qz), de la chlorite (Chl) et de la biotite (Bo). Les photographies A et B présentent le PF2 (échantillon A1), les photographies C et D présentent le PF1 (échantillon A2) et la photographie E présente le PF4 (échantillon E7) (Figure 2.3).	40
Tableau 2.5 : Synthèse des observations pétrographiques	41
Figure 2.17 : Diorite à phénocristaux d'amphibole encaissée dans la DFL1. Le crayon indique le nord et sert d'échelle. (A) Affleurement B; (B) Affleurement E.	42
Figure 2.18 : Photographies de lames minces de dykes de DPA en lumière naturelle et en lumière polarisée. A) et B) Amas de biotite (Bo) et amphiboles (Amph) formés de cristaux grossiers. Les feldspaths sont de granulométrie plus fine. C) et D) Présence des minéraux opaques (Opaq) au travers d'amas de biotite-chlorite (Bo-Chl) et amphiboles (Amph). E) Plagioclases (Plg) pseudomorphosés par la séricite (Sér). F) Plagioclases de granulométrie plus grossière. Les photographies A et B présentent l'échantillon C12, les photographies C et D présentent l'échantillon B7, la photographie E présente l'échantillon D2 et la photographie F présente l'échantillon E5 (Figures 2.3 et 2.4).	43
Tableau 2.6 : Synthèse des observations pétrographiques	44
Figure 2.19 : Photographie de la brèche intrusive. Le crayon indique le nord et sert d'échelle (Affleurement E).	45
Figure 2.20 : Photographies de lames minces en lumière naturelle et lumière polarisée pour l'unité de brèche intrusive. A) et B) Contact entre un fragment et la matrice en tirets jaune. Matrice aphanitique riche en quartz (Qz), feldspaths (Fps), chlorite (Chl) et épidote (Épi) et fragments avec phénocristaux de plagioclases (Plg). C) et D) Les plagioclases sont pseudomorphosés par la séricite (Ser) et l'épidote (Épi), il y a également présence de hornblende (Hb). E) et F) Phénocristaux de plagioclases et présence de hornblende (Hb). Les photographies A à E présentent l'échantillon E4 (Figure 2.3).	46
Tableau 2.7 : Synthèse des observations pétrographiques pour la brèche intrusive	47

Figure 2.21 : Photographies de lames minces de l'aplite. A) Matrice quartzo-feldspathique (Qz+Fps) fine avec présence de cristaux de plagioclases (Plg) pseudomorphosés par la séricite (Ser) et l'épidote (Épi). B) et C) Présence d'une veine d'épidote (Épi) et de quartz (Qz), avec présence de Chlorite et de Biotite (Chl+Bo). Les photographies A à C présentent l'échantillon B4 (Figures 2.3 et 2.4).....	49
Tableau 2.8 : Synthèse des observations pétrographiques pour la phase aplitique.....	49
Tableau 2.9 : Chronologie de mise en place proposée pour les lithologies intrusives	51
Dykes submétriques. Orientation NE à localement E-W	52
Dykes décimétriques à métriques. Orientation NE-SO (affleurement B et C) et NNE (affleurements D et E).....	52
Figure 2.22 : Synthèse de la chronologie relative entre les unités intrusives. A) L'unité de gabbro recoupée par PF2. B) L'unité de gabbro recoupée par les unités DFL1 et DPA. C) Disparition des unités PF1 et PF2 sur l'affleurement B. Probablement recoupées par DFL1. D) L'unité DFL1 recoupée par DFL2, elle-même recoupée par l'unité DPA. E) L'unité DFL1 recoupée par l'unité DFL3. F) La brèche recoupée par le DFL1 et le PF4 recoupant ces deux dernières.	53
Figure 3.1 : Diagrammes binaires, diagrammes multi-éléments et spectre des terres rares pour les roches volcaniques et les gabbros. A) Diagramme Zr vs TiO ₂ . B) Diagramme Na ₂ O+K ₂ O vs SiO ₂ (Le Bas et al., 1986). C) Diagramme Zr/TiO ₂ vs Nb/Y (Winchester et Floyd, 1977). D) Diagramme Th/Yb vs Zr/Y (Ross et Bédard, 2009). E) Diagramme multi-éléments, normalisé au manteau primitif de Hofmann (1988) selon l'ordre de Pearce (2008). F) Spectre des terres rares, normalisé au manteau primitif de Hofmann (1988). 56	
L'aplite est riche en SiO ₂ et possède un ratio Zr/TiO ₂ élevé (Figures 3.2A et 3.2B), ce qui indique que c'est une roche felsique. Elle tombe dans le champ sub-alkalin du diagramme de Zr/TiO ₂ vs Nb/Y Winchester et Floyd (1977) (Figure 3.2C) et dans le champ calco-alkalin d'après le diagramme Zr/Y vs Th/Yb de Ross et Bédard (2009) (Figure 3.2D). Sur le diagramme multi-éléments (figure 3.2E), l'anomalie Nb-Ta-Ti est observée avec une anomalie en Ti plus prononcée que pour les autres roches. Son spectre de terres rares se distingue de celui des autres unités par un enrichissement marqué en terres rares lourdes (Figures 3.2E et 3.2F).	58
Figure 3.2 : Diagrammes binaires, diagrammes multi-éléments et spectre des terres rares pour les roches volcaniques et les gabbros. A) Diagramme Zr vs TiO ₂ . B) Diagramme Na ₂ O+K ₂ O vs SiO ₂ (Le Bas et al., 1986). C) Diagramme Zr/TiO ₂ vs Nb/Y (Winchester et Floyd, 1977). D) Diagramme Th/Yb vs Zr/Y (Ross et Bédard, 2009). E) Diagramme multi-éléments, normalisé au manteau primitif de Hofmann (1988) selon l'ordre de Pearce (2008). F) Spectre des terres rares, normalisé au manteau primitif de Hofmann (1988). 59	
Tableau 3.1 : Synthèse des résultats des bilans de masse	61
Figure 3.3 : Diagramme représentant les gains et pertes en éléments majeurs pour les roches volcaniques et les gabbros.	63
Figure 3.4 : Diagramme représentant les gains et pertes en éléments majeurs pour les roches intrusives.....	64
Figure 3.5 : Diagramme TAS représentant les précurseurs des roches volcaniques et des gabbros.....	66
Figure 3.6 : Diagramme TAS représentant les précurseurs des roches intrusives.....	67

Tableau 3.2 : Synthèse et comparaison de la nomenclature des lithologies de cette étude.....	68
Tableau 3.3 : Synthèse de la minéralogie normative déterminée par la norme CONSONORM_LG (Trépanier et al., 2015) pour les unités volcaniques, volcanoclastiques et intrusives.....	69
Figure 3.7 : Indices de la chloritisation, biotitisation, séricitisation et carbonatation de la CONSONORM_LG pour les volcaniques et les gabbros.....	70
Figure 3.8 : Indices de la chloritisation, biotitisation, séricitisation et carbonatation de la CONSONORM_LG pour les unités intrusives.....	71
Figure 4.1 : Représentation de la schistosité principale Sp.....	75
Figure 4.2 : Mesures de la schistosité principale Sp.....	76
Figure 4.3 : Mesures de linéations d'étirement.....	77
Figure 4.4 : Comparaison des lames horizontale (XZ) A) LN et B) LP et verticale (YZ) C) LN et D) LP pour l'échantillon C1-17 (Tuf andésitique) (Figure 2.3).	80
Figure 4.5 : Comparaison des lames horizontale (XZ) A) LN et B) LP et verticale (YZ) C) LN et D) LP pour l'échantillon C2-17 (Andésite coussinée) (Figure 2.3).	81
Figure 4.6 : Comparaison des lames horizontale (XZ) A) LN et B) LP et verticale (YZ) C) LN et D) LP pour l'échantillon D1-17 (DFL cisailé) (Figure 2.3).....	82
Figure 4.7 : Comparaison des lames horizontale (XZ) A) LN et B) LP et verticale (YZ) C) LN et D) LP pour l'échantillon E2-17 (Dyke PF4) (Figure 2.3).....	83
Figure 4.8 : Photographies de trois échantillons d'andésite coussinée montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 3/5, lumière naturelle. D) IAP 3/5, lumière polarisée. E) IAP 4/5, lumière naturelle. F) IAP 4/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon C4, la photographie C et D présentent l'échantillon C3 et la photographie E et F présentent l'échantillon A4 (Figure 2.3).....	87
Figure 4.9 : Photographies de trois échantillons de tuf andésitique montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 3/5, lumière naturelle. D) IAP 3/5, lumière polarisée. E) IAP 5/5, lumière naturelle. F) IAP 5/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon B6, la photographie C et D présentent l'échantillon C6 et la photographie E et F présentent l'échantillon A3 (Figures 2.3 et 2.4).	88
Figure 4.10 : Photographies de trois échantillons de diorite de faciès lamprophyrique montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 2/5, lumière naturelle. D) IAP 2/5, lumière polarisée. E) IAP 3/5, lumière naturelle. F) IAP 4/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon B1, la photographie C et D présentent l'échantillon E3 et la photographie E et F présentent l'échantillon B9A (Figures 2.3 et 2.4).	89
Figure 4.11 : Photographies de trois échantillons de dykes FP montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 3/5, lumière naturelle. D) IAP 3/5, lumière polarisée. E) IAP 5/5, lumière naturelle. F) IAP 5/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon A1-17,	

la photographie C et D présentent l'échantillon E1-17 et la photographie E et F présentent l'échantillon E2-17 (Figure 2.3).	90
Figure 4.12 : Photographies de deux échantillons de diorites à phénocristaux d'amphiboles montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 2/5, lumière naturelle. D) IAP 2/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon B1 et les photographies C et D présentent l'échantillon C12 (Figures 2.3 et 2.4).....	91
Figure 4.13 : Lame horizontale (A en lumière naturelle et B en lumière polarisée) vs lame verticale (C en lumière naturelle et D en lumière polarisée) dans une roche volcanique. La lame verticale montre globalement une anisotropie légèrement plus forte que la lame horizontale attribuable à une linéation d'étirement plus verticale que pour tous les autres cas analysés. Les photographies A, B, C et D présentent l'échantillon B1-17 (Figures 2.3 et 2.4).	92
Figure 4.14 : Carte simplifiée du secteur d'étude montrant l'orientation de la schistosité principale et les positions interprétées des couloirs de déformation.....	94
Figure 4.15 : Carte simplifiée du secteur d'étude montrant l'orientation des linéations d'étirement et les positions interprétées des couloirs de déformation.	95
Figure 4.16 : Bandes de cisaillement sur le terrain d'étude. Le crayon indique le nord pour A.....	96
Figure 4.17 : Veines de quartz boudinées indiquant un mouvement dextre. Le crayon pointe vers le nord.....	96
Figure 4.18 : Fragment montrant un indicateur de cisaillement de type delta dans le tuf andésitique (Photo de R. Daigneault, 2011).	97
Figure 4.19 : Photographies (A) d'une veine de quartz-tourmaline subhorizontale dans l'unité de DFL sur l'affleurement D; et (B) d'une veine de quartz-tourmaline dans le dyke PF2 sur l'affleurement A.	98
Figure 5.1 : Comparaison des dykes FP de l'affleurement « Val d'Or Est » et de la mine Lamaque.....	101
Figure 5.2 : Diagrammes des terres rares des DFL et de la médiane des lamprophyres de Wyman et Kerrich (1989, 1993) et de Wyman et al., 1995).....	102
Tableau 5.1 : Principales caractéristiques des lamprophyres (selon Rock, 1991; Mathieu et al., 2017) et comparaison avec l'unité de DFL.	103
Figure 5.3 : Interprétation des contacts de l'unité de DFL, établie à partir de la carte du champ magnétique.	106
Figure 5.4 : Modèle montrant la chronologie relative de mise en place des différentes unités et l'évolution de la déformation régionale pour le secteur d'étude (voir dans le texte pour plus de détails).	108
Annexe 5.1 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon A1-17 (Dyke FP).....	144
Annexe 5.2 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon A3-17 (Tuf andésitique).	145
Annexe 5.3 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon A4-17 (Andésite coussinée cisailée).	146
Annexe 5.4 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B1-17 (DFL).	147

Annexe 5.5 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B2-17 (Aplite).....	148
Annexe 5.6 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B3-17 (Tuf andésitique).....	149
Annexe 5.7 : Comparaison des lames A (A et B), B (C et D), C (E et F) et D (G et H) pour l'échantillon B4-17 (Andésite cisailée).	150
Annexe 5.8 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B5-17 (DFL3).	151
Annexe 5.9 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B6-17 (DPA).....	152
Annexe 5.10 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon C3-17 (DFL).	153
Annexe 5.11 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon C4-17 (Andésite coussinée).	154
Annexe 5.12 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon C5-17 (Andésite coussinée).	155
Annexe 5.13 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon C6-17 (DFL).	156
Annexe 5.14 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon E1-17 (Dyke FP).....	157
Annexe 5.15 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon E2-17 (Dyke FP).....	158

*À mon arrière-grand-père Jean,
Pour son appui et tout son amour.*

CHAPITRE I

MISE EN CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

1.1-INTRODUCTION

Ce projet de maîtrise a été réalisé en partenariat avec le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec (MERN) et le Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Cette étude porte sur la caractérisation géochimique des unités lithologiques intrusives, de l'altération et de la déformation sur une zone d'affleurements désignée Val-d'Or Est. Ces affleurements appartiennent à Integra Gold Corporation (Eldorado Gold) au moment de l'étude et se situent directement dans le prolongement des mines Sigma et Lamaque. Ces mines formant un gisement de classe mondiale pour l'or, le secteur d'étude présente un intérêt certain.

Le présent chapitre met en contexte le modèle de formation des gîtes d'or orogénique avec une emphase sur leurs caractéristiques structurales. Ensuite, il est question de la déformation au sein de la ceinture de roches vertes archéennes de l'Abitibi avec une emphase sur le rôle des grandes failles ductiles et des couloirs de déformation, ainsi que de leurs relations avec les intrusions. Les lamprophyres seront également présentés, étant donné que ce type de faciès a été reconnu sur la zone d'étude. Finalement, la problématique, les objectifs ainsi que la méthodologie seront présentés. Le second chapitre présente une description mégascopique et microscopique des différentes unités lithologiques du terrain d'étude. La lithogéochimie est traitée dans le troisième chapitre conjointement avec l'altération. Les différents éléments structuraux sont présentés au quatrième chapitre. Le cinquième chapitre fait la synthèse et l'interprétation des données. Enfin, une conclusion est présentée au sixième et dernier chapitre de ce mémoire.

1.2-PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

1.2.1-Modèle « Or orogénique »

Différents types de minéralisations aurifères sont reconnues dans le monde selon l'environnement tectonique (Goldfarb et al., 2001; Figure 1.1). Dans le cadre de cette étude, nous nous concentrerons sur les gisements de type or orogénique qui sont présents dans le secteur d'étude, avec les exemples types à proximité que sont les gisements de classe mondiale Sigma et Lamaque (Robert et Brown, 1986a et 1986b).

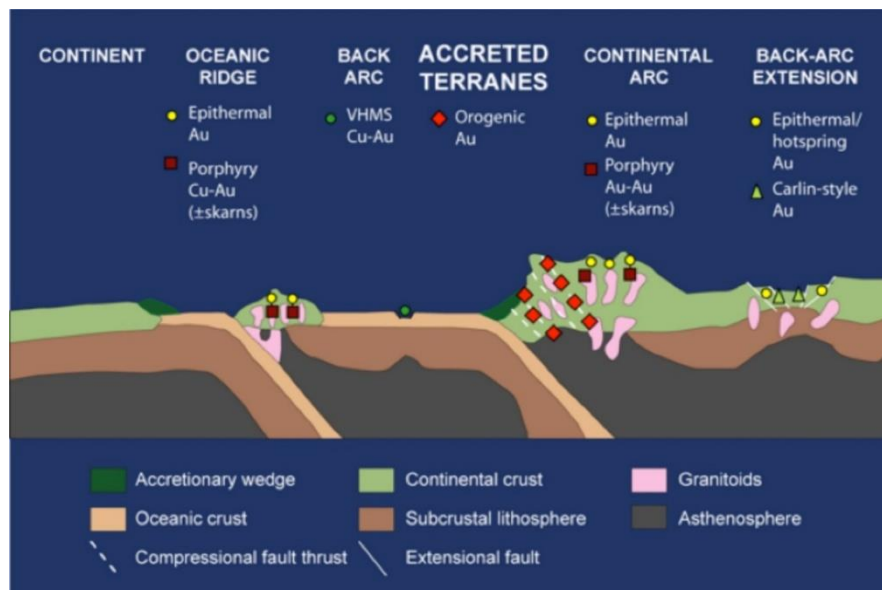


Figure 1.1 : Principaux types de minéralisations aurifères (d'après Goldfarb et al., 2001).

Les gisements de type or orogénique se forment en contexte convergent (accrétion de « *terrane*s » par exemple), où les failles crustales régionales et des intrusions syntectoniques sont observées. Les failles régionales jouent un rôle important dans la mise en place de la minéralisation en or par exemple, en Abitibi, où la majorité des gîtes aurifères sont situés à proximité des grandes cassures telles que la Faille de Cadillac-Larder Lake (FCL) et la Faille de Destor-Porcupine-Manneville (FDP) (Figure 1.2). Ces failles crustales orientées E-O permettent la remontée de fluides hydrothermaux provenant des niveaux profonds de

la croûte (Groves, 1993; Goldfarb et al., 2001). Ces fluides ont une origine métamorphique et sont principalement libérés à une profondeur qui correspond à la transition entre les domaines lithotectoniques ductile et cassant (passage des faciès des schistes verts à celui des amphibolites; voir Phillips et Powell, 2010).

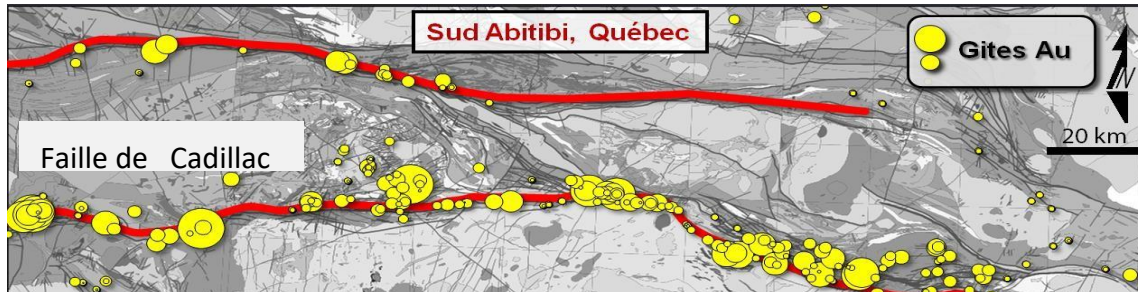


Figure 1.2 : Relation entre les gîtes aurifères et les structures crustales (Rafini, 2012).

Les fluides sont ensuite canalisés dans/ou près de structures d'ordres inférieurs aux failles crustales (Beaudoin et Trudel, 1989; Trudel et al., 1992; Robert, 1983; Robert et Brown, 1986a; Gaboury et al., 2001). Les structures porteuses sont généralement interprétées s'être formées dans un régime de contraintes en compression/raccourcissement (par exemple Sigma-Lamaque; Robert et Brown, 1986) (Figure 1.3).

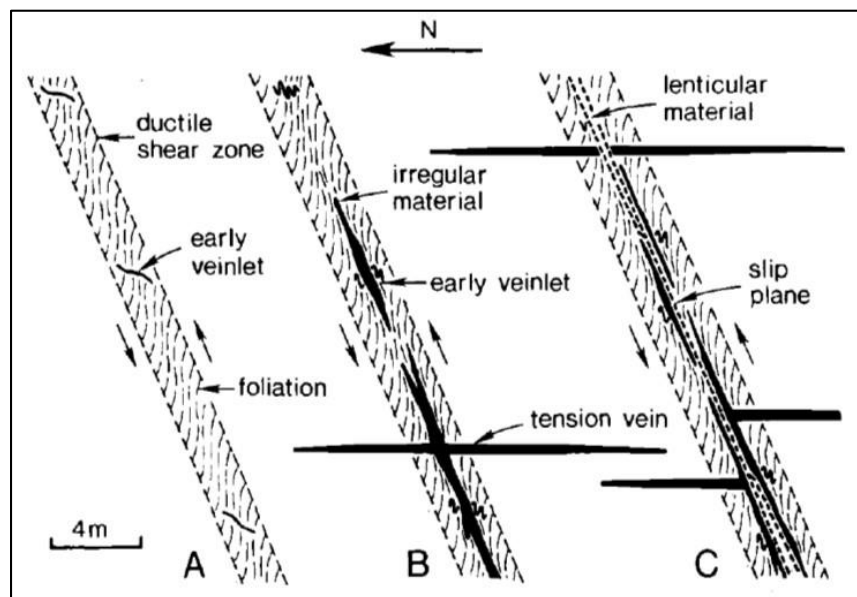


Figure 1.3 : Évolution des zones de cisaillements et des veines contemporaines liées à une compression orientée N-S (Robert et Brown, 1986a).

Les gisements d'or orogéniques, qui sont d'origine hydrothermale, sont en général entourés d'un halo d'altération étroit, les roches y ayant subi des modifications minéralogiques et chimiques importantes (Sauvé et al., 1993; Jébrak et Marcoux, 2008). Une carbonatation proximale (carbonate de fer) à distale (calcite) est généralement observée, ainsi qu'un ajout de K, Na et/ou Ca qui correspond soit à l'altération de type feldspath potassique, à l'albitisation et/ou à la séricitisation (Groves, 1993).

1.2.2-Évolution de la déformation dans la Sous-province de l'Abitibi

La Sous-province de l'Abitibi est composée de nombreuses failles fragile-ductile régionales de longueurs, d'orientations et de cinématiques variables dénotant une évolution complexe. Ces failles s'expriment sous la forme de couloirs de déformation d'épaisseur localement kilométrique (Daigneault et al., 2002, 2004). Deux principales familles de failles sont reconnues en Abitibi : les failles orientées E-O dites longitudinales et les failles orientées NO-SE dites transversales. Les failles orientées E-O (en jaune sur la figure 1.4), sont plus ou moins parallèles aux couches et unités stratigraphiques. Ces zones présentent principalement des linéations d'étirement à composante pendage (Daigneault et al., 2004), c'est-à-dire une linéation avec un fort angle de chute dans le plan de la schistosité et compatible avec une composante de raccourcissement. Les failles orientées NO-SE, qui recoupent les unités stratigraphiques, sont dominées par des linéations d'étirement directionnelles (subhorizontales; Figure 1.4). Cette composante directionnelle est également reconnue localement sur certaines failles orientées E-O et traduit un mouvement de décrochement dextre interprété tardif (Daigneault et al., 2004; Bedeaux et al., 2017). La présence de ces deux attitudes pour les linéations d'étirement est compatible avec des mouvements verticaux suivis de mouvements horizontaux (Daigneault et al., 2004).

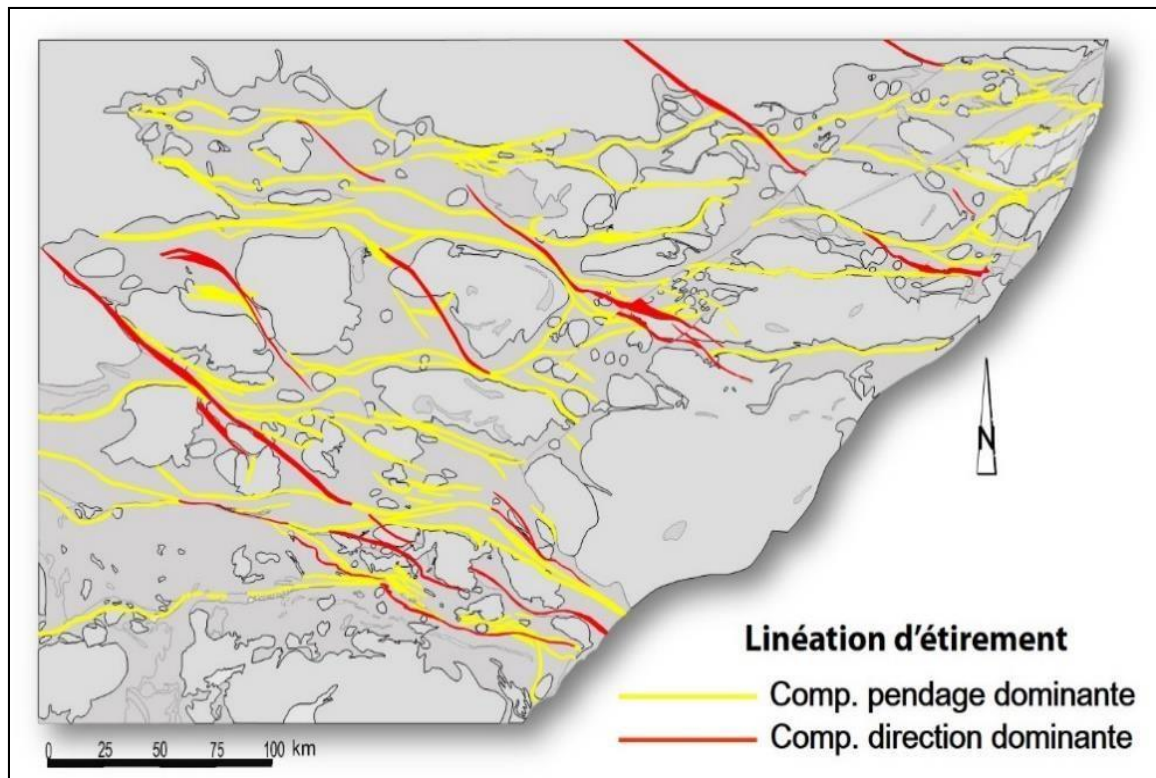


Figure 1.4 : Comportement des linéations d'étirement dans les failles de la Sous-province de l'Abitibi (d'après Daigneault et al., 2004)

1.2.3-Relations entre les intrusions et les failles régionales

Les failles régionales dites crustales jouent un rôle majeur dans la mise en place des intrusions de faible volume comme les intrusions de monzonites, de syénites (Robert, 2001), de porphyres à quartz et feldspaths (QFP) et de porphyres à feldspaths (FP) (Rosenberg, 2004). En effet, les magmas sont communément opportunistes, c'est-à-dire qu'ils utilisent les discontinuités planaires disponibles pour remonter dans la croûte. On constate donc une relation spatiale entre les intrusions et les failles (Figure 1.5) (Sillitoe, 1985; Belkabit et al., 1993; Robert, 2001; Rosenberg, 2004).

Rosenberg (2004) montre un exemple du contrôle structural des failles sur les intrusions dans le Système de Faille Periadriatique localisé dans la portion sud de la chaîne alpine (« *Periadriatic Fault System* », PFS). Cet exemple correspond à la mise en place d'intrusions

en contexte compressif et décrochant (transpression ou mouvement polyphasé), fort comparable au contexte de mise en place des intrusions en Abitibi.

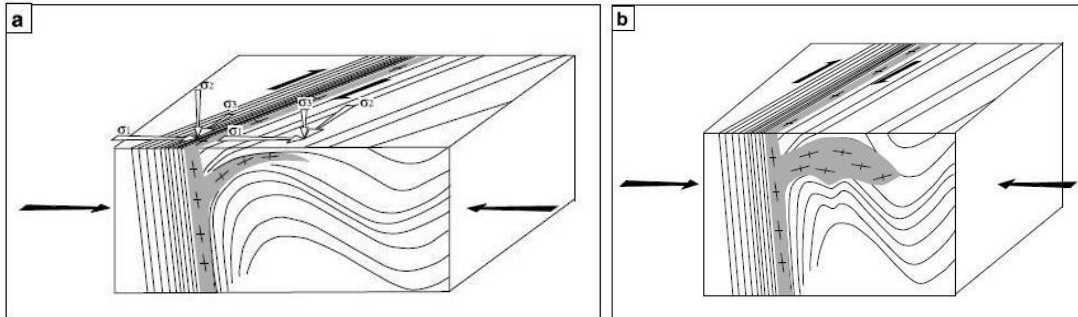


Figure 1.5 : Modèle pour l’ascension et la mise en place de magma en contexte de transpression. a) État de contrainte dans la zone de cisaillement : cisaillement simple dans la zone de cisaillement et cisaillement pur dans les zones adjacentes. L’orientation de la contrainte minimale permet l’ouverture de fractures horizontales. b) Après leurs mises en place, les intrusions et les laves encaissantes sont déformées par la poursuite des mouvements de compression. (Figure tirée de Rosenberg, 2004)

Ce type de mise en place du magma le long de grandes failles a été proposé en Abitibi par Chown et al. (1992, 2002) qui ont, entre autres, expliqué de cette manière la mise en place du Pluton de Colombourg le long de la Faille de Macamic et du Pluton de Father le long de la Faille de Doda. Mueller et al. (1996) montrent également que la mise en place des intrusions porphyriques dans le secteur de Duparquet est concomitante à l’activité de la faille de Destor-Porcupine et à la mise en place des gisements aurifères de type Timiskaming. On constate, d’après les données géochronologiques (Figure 1.6), résumées par Robert (2001), que les intrusions porphyriques et les intrusions de faible volume d’affinité alcaline ou calco-alcaline sont considérées comme des intrusions syntectoniques.

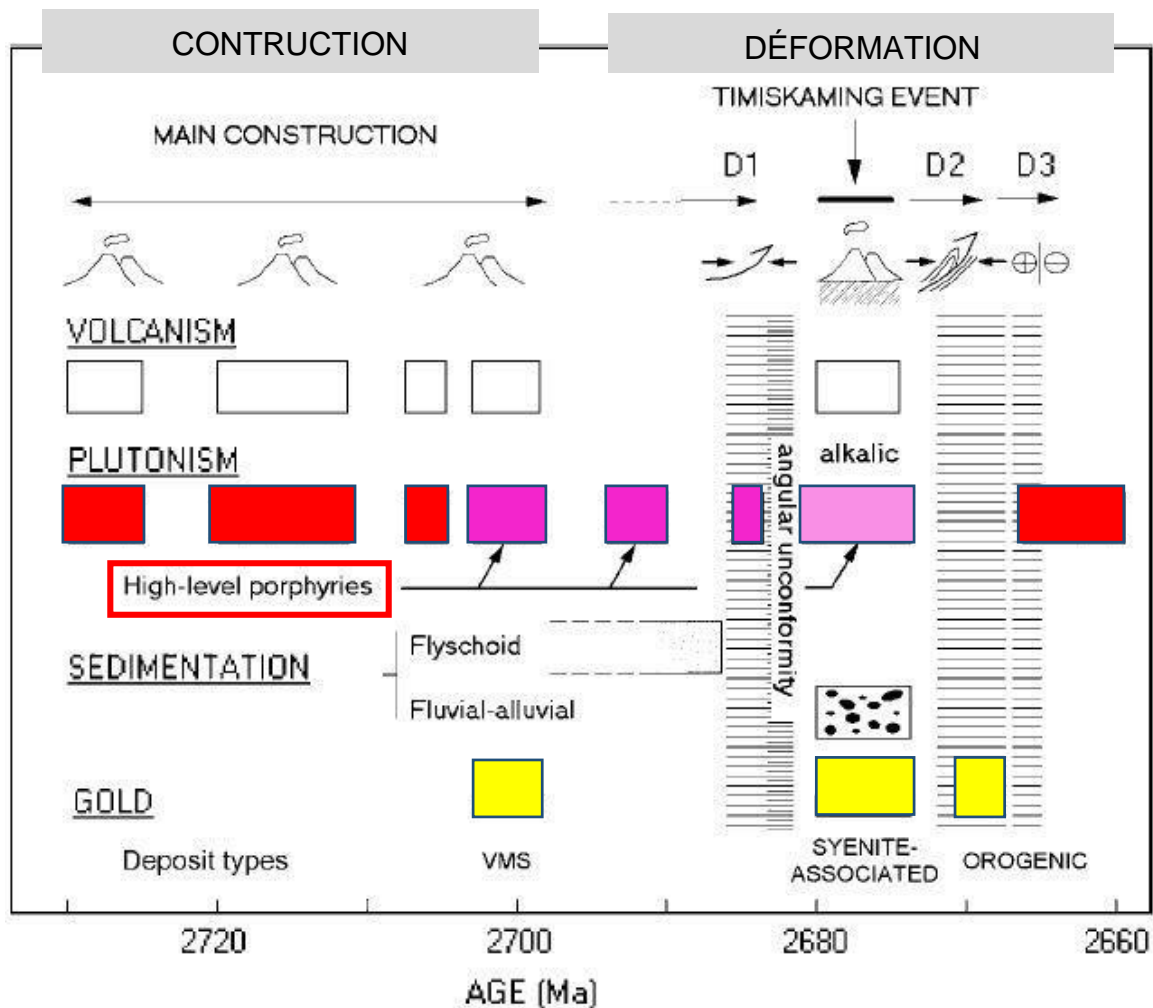


Figure 1.6 : Chronologie de mise en place des principales phases de magmatismes, de déformations et de minéralisations en Abitibi (figure modifiée de Robert, 2001).

Pour certains gisements, il semble qu'il y ait un lien génétique entre l'intrusion et la minéralisation aurifère, c'est-à-dire que l'intrusion contribue en fluides et/ou en métaux au système (Figure 1.7) (Robert et Brown, 1986a; Robert, 2001). Mais pour d'autres cas, les intrusions ne font que créer un milieu propice à la fracturation et à la formation de pièges pour la minéralisation.

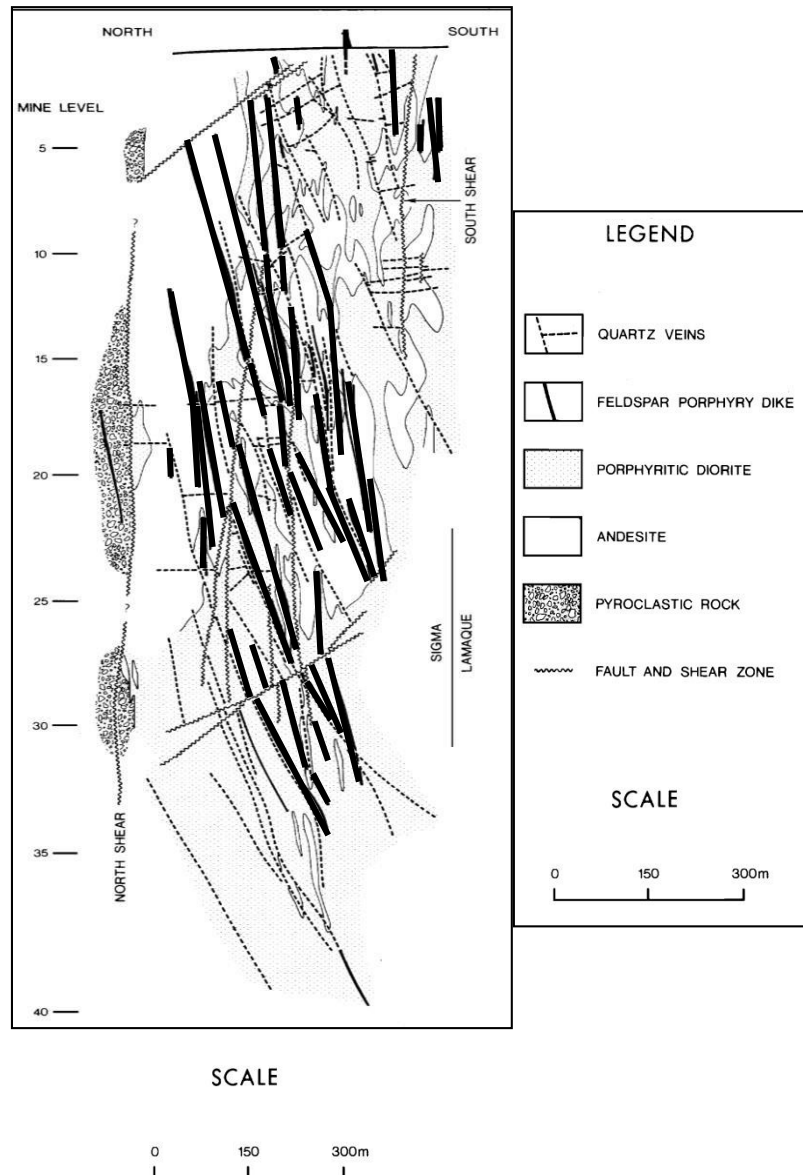


Figure 1.7 : Lien spatial entre la minéralisation aurifère et les intrusions dans le gisement Sigma.
L'abondance de dykes crée un milieu favorable à la formation de zone de cisaillements et de veines
d'extension qui permettent la déposition de l'or (d'après Robert et Brown, 1986a).

Robert (2001) a observé que certains gîtes aurifères étaient associés spatialement aux monzonites quartzifères et aux syénites. Ces différentes intrusions se mettent en place de façon synchrone avec le Groupe de Timiskaming (Robert, 2001, Mueller et Donaldson, 1992). Les types d'intrusions observées à proximité des gisements d'or en Abitibi sont :

les dykes de porphyres feldspathiques (nommés FP), les dykes de porphyre à quartz et feldspath (nommés QFP) ainsi que les dykes de dacite porphyrique. Ces intrusions peuvent être pré-, syn-, ou post-minéralisation et se forment toutes pendant la période syntectonique (MacDonald, 2005).

1.2.4-Lamprophyres

Les dykes de lamprophyre sont communément observés à proximité des gisements d'or et des grandes structures régionales crustales en Abitibi (Cooper et al., 1987; Feng et Kerrich, 1992; Kerrich et Wyman, 1994; Wyman et Kerrich, 1989) (Figure 1.8). Ces intrusions ont fait l'objet de nombreux débats car dans les années 1980, elles étaient considérées comme étant la source de l'or (Groves et al., 1988). Ceci a ensuite été réfuté par Wyman et Kerrich (1993). Des relations spatiales et temporelles existent cependant entre les lamprophyres de type calco-alcalin, ou shoshonitique, et les gisements d'or en Abitibi (Wyman et Kerrich, 1988; Kerrich et Wyman, 1990, 1994; Hodgson et Troop, 1988).

Ces roches sont toutefois mal documentées et sont rarement bien identifiées (Mathieu et al., 2017). Il est possible, sur le terrain, de parler de faciès lamprophyrique (Mitchell, 1994) et correspondant à des roches intrusives qui contiennent des phénocristaux de phlogopite, d'hornblende et/ou d'amphibole avec des feldspaths restreints à la matrice. La notion de faciès n'a pas d'implication pétrogénétique. Le terme lamprophyre désigne de petits volumes de magmas qui sont enrichis en volatiles (H_2O et CO_2) et qui sont produits par un faible degré de fusion partielle d'une source enrichie par métasomatisme (Wyman et al., 2006).

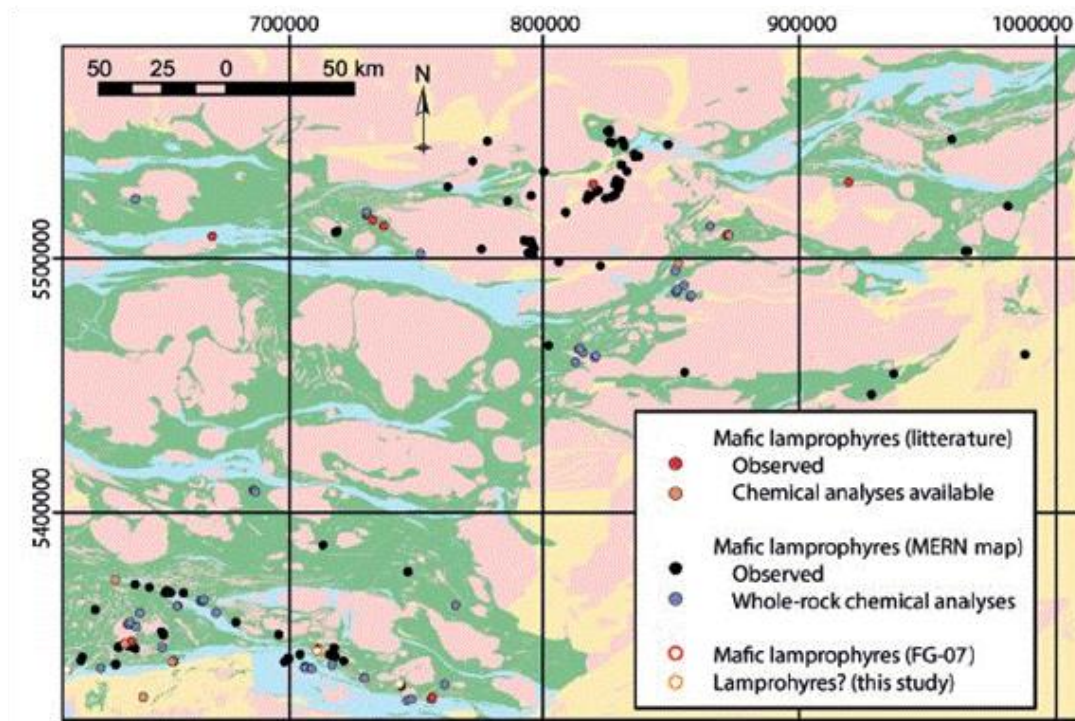


Figure 1.8 : Localisation de lamprophyres identifiés dans la littérature et par le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, dans la Sous-province de l'Abitibi (compilation de Mathieu et al., 2017).

1.3-PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE

1.3.1-Environnement des Mines Sigma-Lamaque

La mine Sigma est localisée à l'est de Val-d'Or, en Abitibi, et est considérée comme un exemple typique de gisement de type or orogénique (Robert et Brown, 1986a et 1986b). Dans le secteur de la Mine Sigma, on observe un essaim de dyke de type FP qui montre une relation spatiale étroite avec la minéralisation aurifère (Norman, 1948; Daigneault et al., 1983; Robert et Brown, 1986a; Sauvé et al., 1993; Pilote et al., 2000). Les dykes FP dits type « G » (Robert et Brown, 1986a) sont orientés E-O et leurs pendages sont abrupts vers le sud. Ces dykes sont contemporains à la phase de déformation principale et les veines aurifères sont contenues au sein de ces dykes. Un âge de 2694 Ma +/- 2 Ma a été obtenu sur l'un de ces dykes (Wong et al., 1991).

Le facteur structural dominant consiste en de nombreuses zones de cisaillement de deux types : le premier type est quasi vertical et suit les dykes et le second type est constitué de cisaillements moins abrupts à pendage nord (Robert et Brown, 1986a).

Deux zones de cisaillement principales, dites Nord et Sud (« North shear » et « South shear »), sont considérées comme des failles importantes qui limitent la minéralisation dans le gisement de Sigma (Figure 1.9). Entre ces deux failles, on reconnaît plus d'une vingtaine de zones de cisaillement orientées E-O et qui sont inclinées vers le sud (Robert et Brown, 1986a).

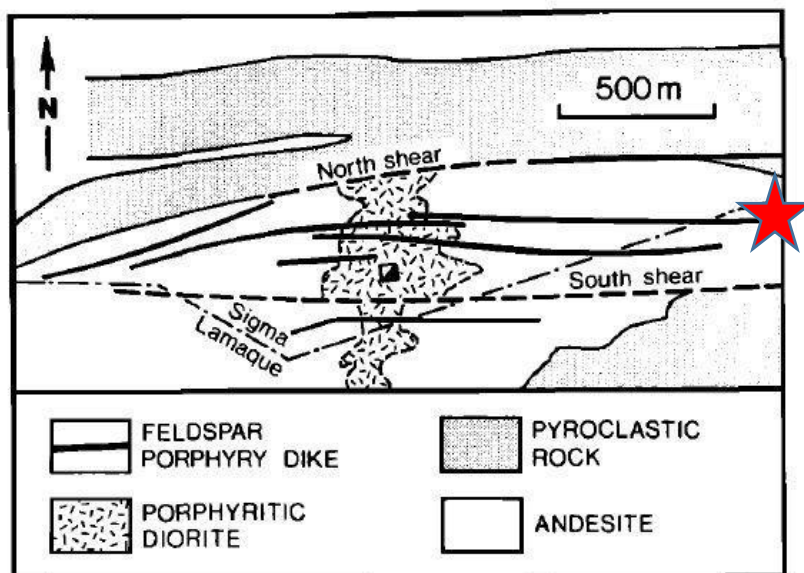


Figure 1.9 : Géologie simplifiée de la mine Sigma (Robert et Brown, 1986a). L'étoile rouge indique la localisation du secteur d'étude.

Il existe trois types de veines à la mine Sigma (Robert et Brown, 1986a) : 1) les veines dites en cisaillement qui occupent le centre des zones de cisaillement; 2) les veines d'extension; et 3) les veines dites «de dykes» qui sont restreintes aux dykes de FP. Deux types d'altération sont associées aux veines d'extension : une altération visible d'étendue centimétrique à décimétrique et une altération cryptique beaucoup plus étendue (de l'ordre du mètre), mais difficile à observer (Robert et Brown, 1984). Selon Robert et Brown (1986b), les roches altérées montrent des gains pour les éléments suivants : CO₂, Si, K, Ca, Na, B, S, P, LILE (« Large-Ion Lithophile Elements ») et ont perdu Mg, Fe et Al (Robert et Brown, 1986b).

La mine Lamaque est localisée à l'est de la ville de Val-d'Or, au sud de la mine Sigma. Comme cette dernière, Lamaque est considéré comme un gisement de type or orogénique (Robert et Brown, 1986a; Gosselin et Dubé, 2005). Les roches hôtes sont des andésites et tufs à lapilli de la Formation Val-d'Or (Pilote, 2000). Plusieurs types d'intrusions sont observés au travers de ces roches volcaniques: deux types de dykes et sept cheminées de différents types de diorite qui sont reconnus comme étant en majorité des intrusions

porphyriques (Daigneault et al., 1983). Comme à Sigma, ce gisement possède deux principaux types de veines: 1) des veines d'extension subhorizontales; et 2) des veines en cisaillement subverticales. Il est possible d'observer des bordures d'altération jusqu'à une distance de 20 cm autour des veines (Daigneault et al., 1983).

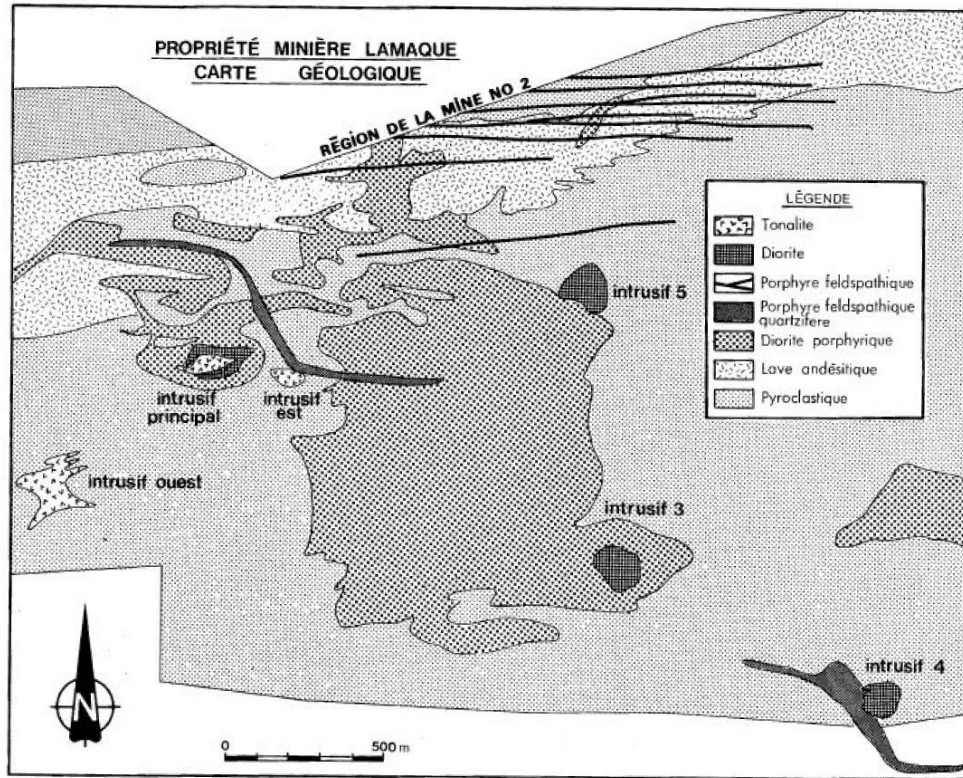


Figure 1.10 : Géologie de la partie centrale de la propriété Lamaque (tirée de Daigneault et al., 1983)

1.3.2-Problématique du secteur d'étude

Le secteur d'étude contient certains éléments favorables aux minéralisations de type « or orogénique », comme les zones de cisaillement orientées E-O. Aussi, les éléments suivants sont observés: 1) une grande variété de dykes de diverses natures comprenant plusieurs types de dykes porphyriques, dont des dykes de lamprophyre; 2) des veines à quartz-tourmaline (toutefois peu aurifères); et 3) les unités lithologiques montrent localement une forte altération hydrothermale de type volcanogène (Scott, 2002).

La zone d'étude expose une problématique à différents égards. En premier lieu, la relation chronologique entre les différentes phases intrusives reste à établir: les dykes représentent-ils un ou plusieurs événements magmatiques? Les intrusions présentes sur la zone étudiée sont possiblement celles de type FP, similaires à celles observées dans le gisement Sigma-Lamaque, mais cela reste à être confirmé (Daigneault et al., 1983; Robert et Brown, 1986a; Sauvé et al., 1993; Pilote, 2000).

Une emphase particulière sera mise sur les dykes de faciès lamprophyres qui sont bien exposés dans la zone d'étude (Pilote, 2000). La question est de savoir si ces intrusions correspondent bien à des lamprophyres, tel que définis dans la littérature et si non, établir leurs natures et les situer dans l'évolution tectonique et géologique de la zone étudiée.

La zone d'étude expose également une problématique au niveau structural. Plusieurs zones de cisaillement orientée E-O y sont reconnues, qui présentent des linéations d'étirement d'orientation variables mais avec une dominance de linéations horizontales compatibles avec la présence d'un mouvement décrochant (Daigneault et al., 2002). Cette cinématique se distingue de celle bien documentée dans le gisement de Sigma-Lamaque où les failles inverses et les veines d'extension subhorizontales dominant et expriment un système en raccourcissement (Robert et Brown, 1986a). Il faut donc déterminer l'évolution cinématique particulièrement au sein des couloirs de cisaillement.

La grande densité de dykes de natures différentes, la présence de linéations d'étirement et autres indicateurs structuraux et la présence de zones de cisaillement vont permettre d'établir la chronologie relative entre la déformation, la mise en place des phases intrusives, des veines de quartz et de l'altération hydrothermale dans le secteur.

De plus, le secteur est situé dans la prolongation orientale de la mine Sigma, à seulement 1 km de ce gisement (Figure 1.9). Si l'ensemble des ingrédients propices à la minéralisation semblent présents, seules quelques valeurs aurifères sous-économiques semblent caractériser le secteur jusqu'à maintenant. Il devient dès lors intéressant de poser la question en quoi les ingrédients présents se distinguent des contextes connus de Sigma-Lamaque. S'agit-il d'une différence au niveau des phases intrusives qui globalement n'ont

pas joué le rôle de piège pour la minéralisation? En quoi le régime de déformation présent est-il différent? Ces questions seront abordées dans le cadre de ce mémoire.

1.4-OBJECTIFS

L'objectif principal du projet est d'établir les relations chronologiques entre les intrusions, les veines de quartz-tourmaline, les altérations, et la déformation.

Pour répondre à cet objectif, les sous-objectifs suivants sont définis :

- Déterminer les caractéristiques (affinité et degré de différenciation) des phases intrusives et établir leur chronologie relative;
- Caractériser l'altération hydrothermale;
- Définir le cadre structural du secteur;
- Intégrer l'ensemble des éléments et proposer un modèle d'évolution.

1.5-MÉTHODOLOGIE

Ce projet implique un travail en deux phases. Dans un premier temps, des travaux ont été réalisés sur le terrain visant à recueillir des données, descriptions, échantillons, relations de recoupement et des données structurales. Dans un deuxième temps, les travaux ont été réalisés en laboratoire, comprenant l'étude pétrographique et l'étude des analyses lithogéochimiques.

1.5.1-Levés de terrain

Les travaux de terrains ont permis la cartographie de la série d’affleurements décapés dans le secteur Val-d’Or Est, connus aussi sous le nom d’affleurements « Placer Dome ». Une cartographie de détail au 1:40 a été réalisée sur un des affleurements, afin d’établir les différentes relations lithologiques et structurales. Un système de positionnement global différentiel (DGPS) a été utilisé afin de localiser précisément les éléments observés sur les affleurements. L’échantillonnage a été effectué de façon à obtenir des représentants de chaque lithologie intrusive présents sur le terrain. L’étude des lithologies volcaniques vise à déterminer l’altération présente.

1.5.1.1-Levé structural détaillé

Toutes les fabriques planaires présentes sur les affleurements ont été mesurées et décrites de manière systématique. La reconnaissance et la caractérisation de la schistosité principale S_p ont permis d’évaluer la distribution de la déformation. La S_p est le plan d’aplatissement apparent de tous les objets présents (fragments, coussins, cristaux, etc.) et correspond à l’orientation préférentielle des minéraux de la roche. Les fabriques secondaires, comme les clivages de crénulation, ont également été mesurées.

Afin d’établir la distribution et les variations dans l’intensité de la fabrique S_p , des mesures structurales ont été effectuées avec une maille régulière, approximativement aux 25 m. Le degré d’anisotropie planaire associé à la fabrique S_p a été évalué avec l’aide d’une échelle qualitative d’anisotropie planaire (IAP; voir Daigneault, 1996; tableau 1.1). Cette échelle IAP s’étale de 0 à 5 ; la valeur 0 étant un milieu sans anisotropie, 3 un degré moyen et 5 étant le milieu le plus anisotrope où les structures primaires sont complètement oblitérées. Cette évaluation est faite sur une station de mesure ponctuelle, mais représente une estimation pour une surface moyenne de 10 m².

Tableau 1.1 : Échelle d'anisotropie planaire (Daigneault, 1996).

<i>Indice</i>	Critères
0	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune empreinte de déformation ductile visible (absence de fabrique structurale). • Caractéristiques primaires des roches intactes.
1	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'une faible fabrique corrélable d'un point d'observation à l'autre (type clivage à faible schistosité). • Développement hétérogène et localisé dans certaines portions de la roche • Caractéristiques primaires des roches bien préservées
2	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrique généralement pénétrante et localement plus fortement développée (type schistosité ou foliation) • Orientation préférentielle notable des objets géologiques selon cette fabrique. • Caractéristiques primaires des roches encore reconnaissables.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrique très pénétrante fortement développée et omniprésente • Orientation préférentielle marquée des objets géologiques • Caractéristiques primaires encore reconnaissables mais partiellement occulté par l'empreinte structurale.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrique fortement développée (type schistosité ou foliation submylonitique) • Caractéristiques structurales dominant sur les caractéristiques primaires qui sont que localement reconnaissables. • Zone de déformation modérée à forte.
5	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrique intensément développée (type schistosité ou foliation mylonitique • Oblitération totale des caractéristiques primaires.. • Zone de déformation intense.

Une attention particulière a été portée aux linéations d'étirement. Ces linéations marquent le mouvement (Ramsay, 1980) et des mesures ont été réalisées sur le terrain d'étude en passant des zones les moins anisotropes vers les zones les plus anisotropes. Des échantillons orientés ont été prélevés afin de confirmer et de préciser l'attitude des

linéations d'étirement. Les zones de plus haute déformation ont été analysées avec plus de détail afin de repérer les indicateurs de cisaillement (fabrique CS, bande de cisaillement, indicateurs cinématiques de types domino, sigma ou delta) utiles pour déterminer le régime de déformation (coaxial ou non coaxial) et le sens de mouvement.

Les veines de quartz-tourmaline ont été mesurées et décrites attentivement afin de déterminer leurs compatibilités avec le régime de déformation et leurs modifications géométriques.

L'échantillonnage a permis de récolter 56 échantillons dont 25 ont été préparés et envoyés pour analyse lithogéochimique et 54 ont été orientés pour analyse structurale. Les analyses géochimiques ont été réalisées par le laboratoire Actlabs en 2016 selon les techniques par fusion de métaborate de lithium par ICP-MS (« *Induction Coupled Plasma Mass Spectrometry* »), par ICP-AES (« *Induction Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* ») ou par activation neutronique. Les analyses chimiques de roches entières ont été réalisées en utilisant les standards du MERN avec des contrôles QA-QC.

1.5.2-Travaux de laboratoire

Les travaux de laboratoires ont consisté en l'étude lithogéochimique et pétrographique des différentes unités lithologiques à partir de 100 lames minces.

1.5.2.1-Typologie/classification des intrusions

La classification géochimique des intrusions a été réalisée afin d'identifier l'affinité et d'estimer le degré de différenciation des magmas, pour pouvoir les classer. Pour déterminer l'affinité, l'IUGS recommande l'utilisation du diagramme TAS (*Total Alkali versus Silica*; Le Bas et al., 1986) qui permet de déterminer si la roche est alcaline ou sub-alcaline, ainsi que du diagramme AFM (Jensen, 1976) qui permet de distinguer les séries sub-alcalines suivantes: calco-alcaline et tholéiitique. Cependant, l'altération peut modifier les éléments

majeurs mobiles et les diagrammes décrits sont basés sur des éléments mobiles. Afin de classer les roches volcaniques altérées et métamorphisées, Winchester et Floyd (1977) ont proposé l'utilisation du diagramme Zr/TiO_2 vs Nb/Y , qui permet de distinguer les principales séries magmatiques et types de roches. Cependant, bien que ce diagramme règle le problème des éléments mobiles, il reste un doute pour son utilisation dans notre étude. En effet, en Abitibi une anomalie négative en Nb est communément observée (Wyman, 1999) et fait varier le ratio Nb/Y.

Les diagrammes de MacLean et Barrett (1993) et Barrett et MacLean (1994 et 1999), qui ont été modifiés par Ross et Bédard (2009), ont également été utilisés, ainsi que les diagrammes multiéléments et le spectre des terres rares. Le diagramme Th/Yb vs Zr/Y de Ross et Bédard (2009) permet de déterminer plus précisément l'affinité dans la série sub-alcaline. Le diagramme multiéléments permet de visualiser le taux d'enrichissement en incompatibles et donc de différencier les magmas alcalins des sub-alcalins. Ces diagrammes ont également été utilisés pour classer les lamprophyres. Pour déterminer le nom des roches, qui découle du degré de différenciation, le diagramme des éléments immobiles Zr vs TiO_2 a été utilisé. Ce diagramme est inspiré du ratio Zr/Ti utilisé par Winchester et Floyd (1977). Concernant les lamprophyres shoshonitiques, la nomenclature utilise les proportions des feldspaths, de biotite et d'amphibole pour les nommer (Tableau 1.2).

Tableau 1.2 : Caractéristiques pétrologiques des 4 variétés de lamprophyre.

Light-coloured constituents		Predominant mafic minerals		
feldspar	foid	biotite > hornblende, ±diopsidic augite, (±olivine)	hornblende, diopsidic augite, ±olivine	brown amphibole, Ti-augite, olivine, biotite
or > pl	–	minette	vogesite	–
pl > or	–	kersantite	spessartite	–

Or=feldspaths alcalins ; pl = plagioclase (modifié de Le Maitre et al., 2002; classification IUSG).

1.5.2.2-Caractérisation de l'altération

L'altération a d'abord été caractérisée au niveau minéralogique. Les minéraux d'origine hydrothermale tels que la chlorite, la séricite et les carbonates ont été décrits et leur abondance évaluée par une étude pétrographique effectuée avec un microscope optique conventionnel.

Pour quantifier l'altération, des bilans de masses et un calcul normatif ont été utilisés. Les indices d'altérations ont été calculés avec la méthode CONSONORM_LG de Trépanier et al. (2015) grâce au logiciel LithoModeleur. La méthode du calcul normatif est une méthode développée par Trépanier et al. (2015). Trois niveaux de métamorphisme sont disponibles (Schiste vert moyen, Schiste vert supérieur et Amphibolite inférieur). À partir d'une analyse géochimique, la méthode permet le calcul des proportions minérales pour diverses conditions de pression-température grâce à des équations linéaires et des tétraèdres métamorphiques. Elle se base sur le calcul de la concentration en H₂O dans la roche. Elle permet également le calcul des indices d'altération pour différents minéraux (séricite, chlorite...) pour estimer la quantité d'altération. Ces indices d'altération permettent la comparaison, entre les proportions de minéraux liés à l'altération et les minéraux liés à la roche fraîche. Ces indices se trouvent sous la forme :

$$\text{Indice d'altération} = (\text{minéral lié à l'altération}) / (\text{minéral lié à l'altération} + \text{minéral « frais »}).$$

1.5.2.3-Caractérisation du cadre structural

Les différentes mesures structurales ont été placées sur des stéréonets afin de subdiviser la zone d'étude en domaines structuraux. Les mesures structurales ont été analysées en fonction des différentes générations de dykes afin d'établir si ces dykes ont enregistré la totalité ou une partie de l'histoire de la déformation. Les différentes mesures obtenues sur le terrain ont été mises en carte à l'aide d'un logiciel de type SIG (Système d'Informations Géographiques).

Afin de caractériser le mouvement, ainsi que la succession des évènements, des lames minces orientées ont été confectionnées pour observer les indicateurs cinématiques et la linéation d'étirement. Étant donné que cette dernière se trouve dans le plan de schistosité, deux coupes ont généralement été effectuées : la première est perpendiculaire au plan de schistosité et perpendiculaire à la linéation d'étirement (plan YZ), et la seconde est perpendiculaire à la schistosité et parallèle à la linéation d'étirement (Plan XZ) (Figure 1.11). Ces lames minces ont également permis l'observation des différents minéraux et de leurs relations avec les fabriques liées à la déformation régionale.

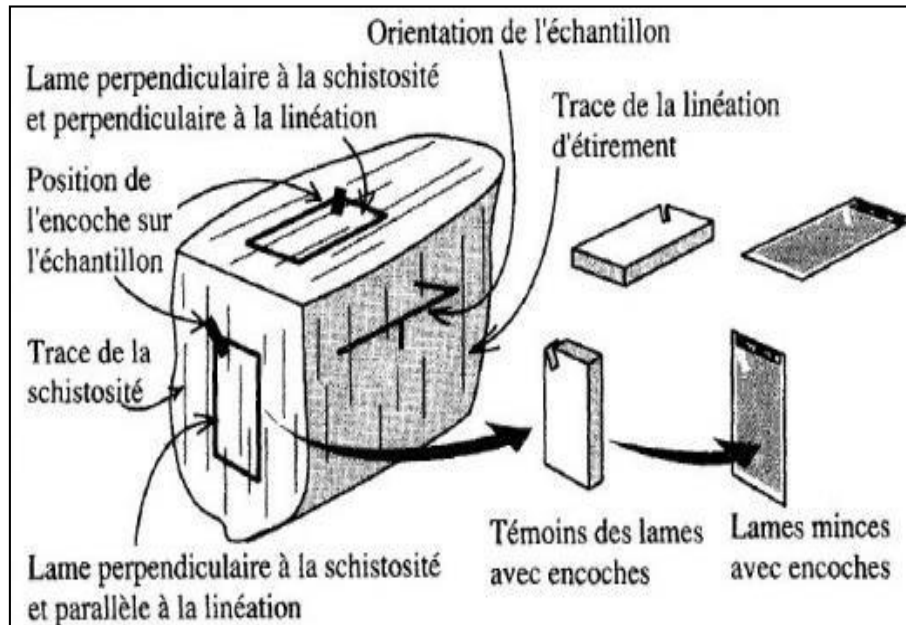


Figure 1.11 : Confection des lames minces orientées (Daigneault, 1991)

Une chronologie relative entre les différents éléments de l'étude sera créée et les liens entre les dykes, l'altération et la déformation seront établis.

1.6- La Sous-province de l'Abitibi

La Sous-province de l'Abitibi, d'âge archéen, est localisée dans la Province de Supérieur au sein du Bouclier canadien (Figure 1.12). Cette sous-province représente la plus grande



province de l'Abitibi et les roches métasédimentaires de la Sous-province de Pontiac (Card, 1990).

Une division est reconnue en Abitibi depuis les travaux de Goodwin et Ridler (1970) qui ont défini que la ceinture de roches vertes était sous-divisée en une zone volcanique nord et une zone volcanique sud séparées par une large zone axiale. D'autres études ont alors suivi et d'autres divisions ont été proposées. C'est ainsi que Dimroth et al. (1982) ont séparé la ceinture abitibienne en une zone nord interne et une zone externe sud en se basant sur l'abondance des komatiites dans le sud de la ceinture et sur l'abondance de plutons et de filons-couches mafiques à ultramafiques au nord. Les travaux de Chown et al. (1992) ont par la suite défini la ceinture abitibienne comme étant formée de la Zone Volcanique Nord (ZVN) et la Zone Volcanique Sud (ZVS) qui ont une histoire volcanique, plutonique et structurale commune, mais qui n'ont pas les mêmes âges U-Pb (Figure 1.13). Ces deux zones sont séparées par la Faille de Destor-Porcupine (FDP), d'orientation E-O.

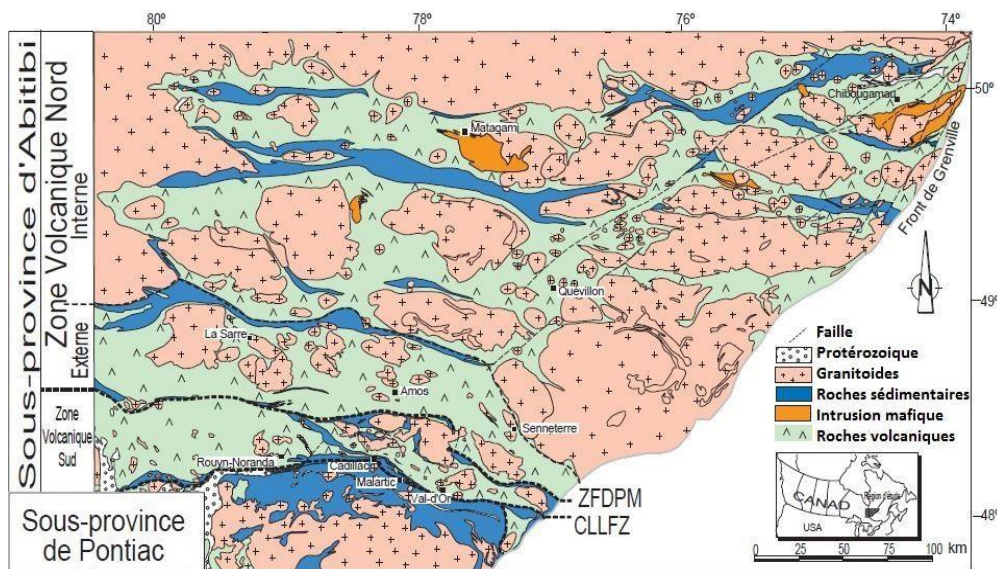


Figure 1.13 : Géologie simplifiée de la Sous-province de l'Abitibi (d'après Daigneault et al., 2002).

La Sous-province de l'Abitibi est ainsi découpée par plusieurs failles, et pour l'instant deux des failles régionales majeures crustales les plus importantes sont la FDP et la FCL (Daigneault et al., 2002).

La ZVS, où se situe la zone étudiée, est composée de différents domaines de roches volcanosédimentaires supracustales composées de lithologies volcaniques et volcanoclastiques ultramafiques à felsiques. Le tout est séparé par des bandes de roches sédimentaires (Imreh, 1984; Sharpe, 1968; Scott et al., 2002; Scott, 2005). Ces unités ont généralement une orientation E-O avec un fort pendage vers le nord. Ces lithologies sont recoupées par de nombreux plutons et dykes de compositions dioritique-tonalitique à monzonitique (Pilote et al., 2000).

1.7-LE SECTEUR D'ÉTUDE

Le secteur d'étude, désigné secteur Val-d'Or Est, est localisé à environ 3 km à l'est de la ville de Val-d'Or (Figure 1.14) et à 1 km à l'est du gisement Sigma-Lamaque (Figure 1.15). La zone est directement située dans le prolongement oriental de ce gisement de classe mondiale.

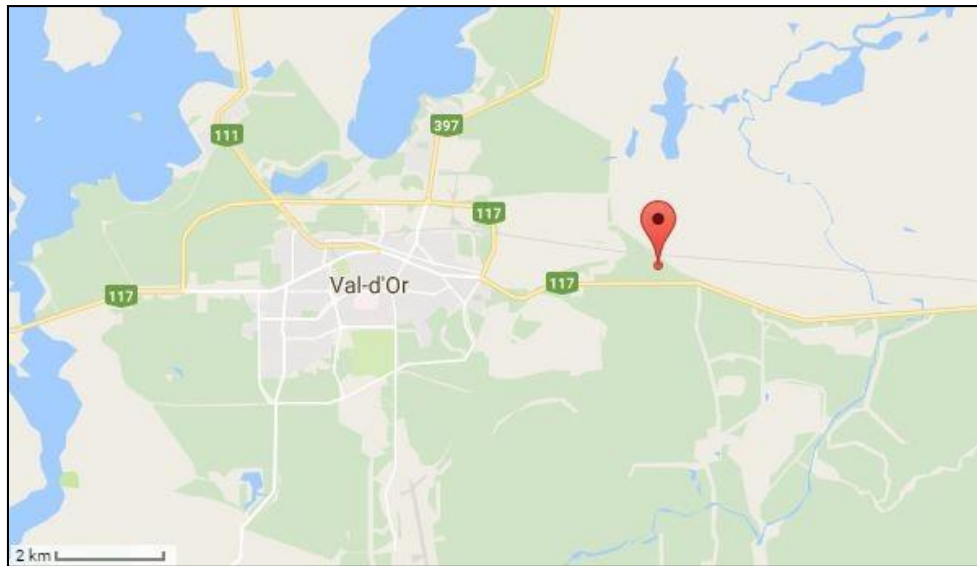


Figure 1.14 : Localisation du secteur d'étude par rapport à la ville de Val-d'Or (Tirée de Google Map).

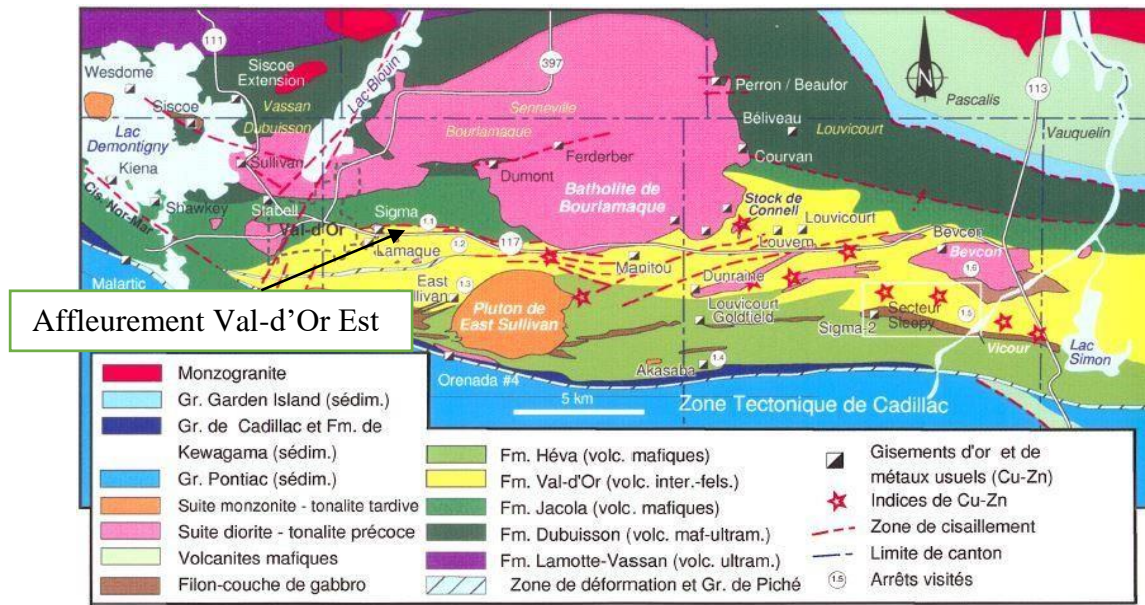


Figure 1.15 : Localisation du secteur d'étude (figure modifiée de Pilote et al., 2000).

La zone d'étude est composée de 5 affleurements (Figure 1.16). Les roches présentes sont des volcanoclastites et des volcaniques coussinées intermédiaires de la Formation de Val-d'Or (Figure 1.17), qui varient d'une base montrant une affinité tholéiitique à transitionnelle puis à calco-alcaline. Les volcanites sont recoupées par 6 familles de dykes (Scott, 2005). Scott a principalement étudié les roches volcaniques, il reste donc à étudier plus en détail les intrusions qui recoupent ces dernières.

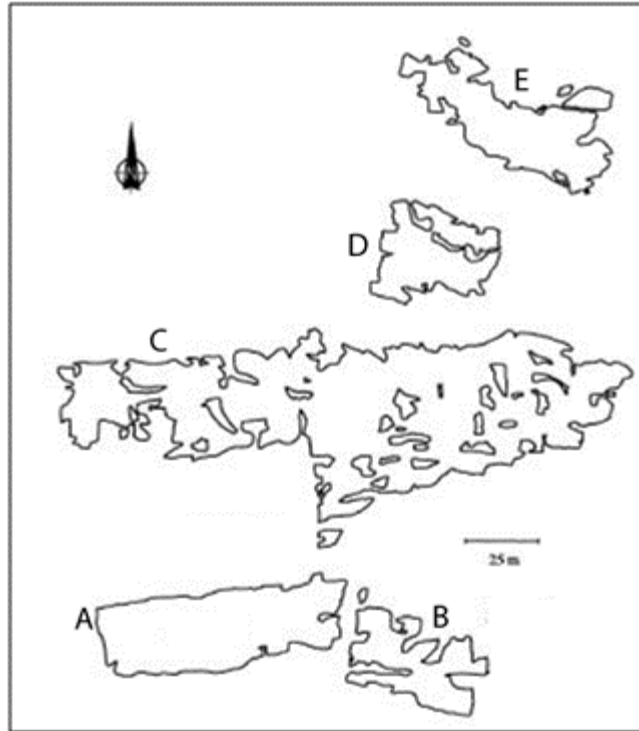


Figure 1.16 : Contour des affleurements du secteur Val-d'Or Est.

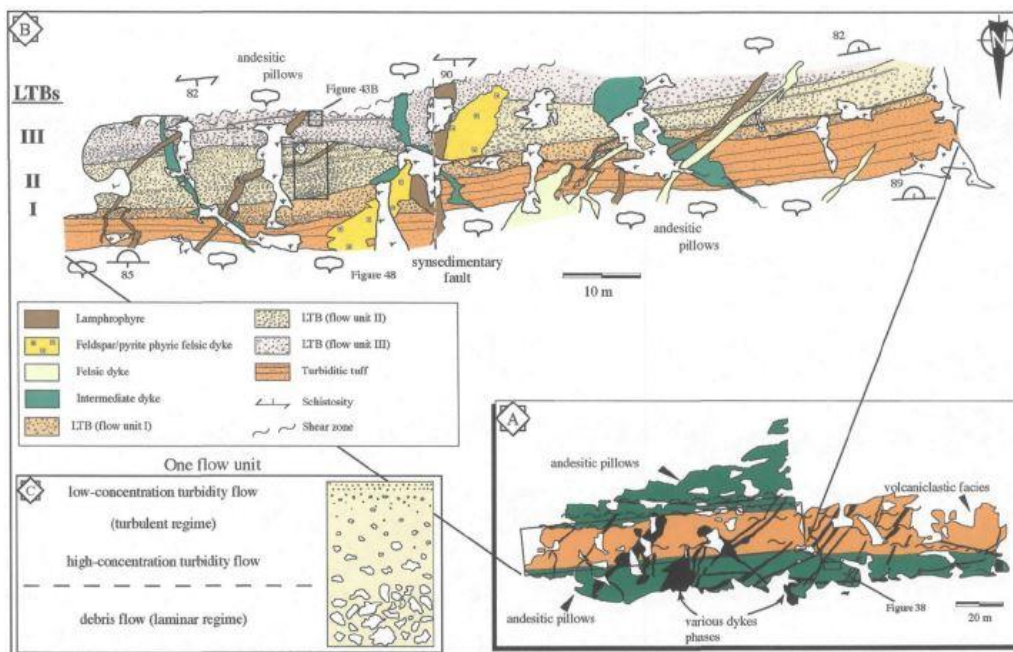


Figure 1.17 : Carte géologique de l'affleurement C étudié par Scott (2005). A) Affleurement complet. (Notez le nord vers le bas) ; B) Agrandissement de la partie centrale, avec les lithologies volcanoclastiques.

CHAPITRE II

CARACTÉRISATION DES UNITÉS LITHOLOGIQUES

2.1-Introduction

Ce chapitre présente les différentes caractéristiques des unités lithologiques observées sur les affleurements du secteur Val-d'Or Est. Ce secteur est caractérisé par la présence de nombreuses phases intrusives situées dans des roches volcaniques intermédiaires. La caractérisation se limitera aux phases intrusives non traitées par Scott (2005), toutefois les phases volcaniques coussinées et volcanoclastiques seront également décrites dans le but d'étudier l'altération dans le chapitre suivant.

Les unités sont décrites de façon mégascopique et microscopique. Les roches volcaniques sont décrites en premier, suivies des roches intrusives. Le résultat des travaux de cartographie sont présentés à la figure 2.1, qui intégrera également les cartographies précédentes (Pilote, 2000; Scott, 2005). Un agrandissement de l'affleurement B, qui contient plus d'unités et de détails, est présenté à la figure 2.2. Pour une meilleure visualisation de l'emplacement des échantillons, une carte a été produite (Figures 2.3 et 2.4).

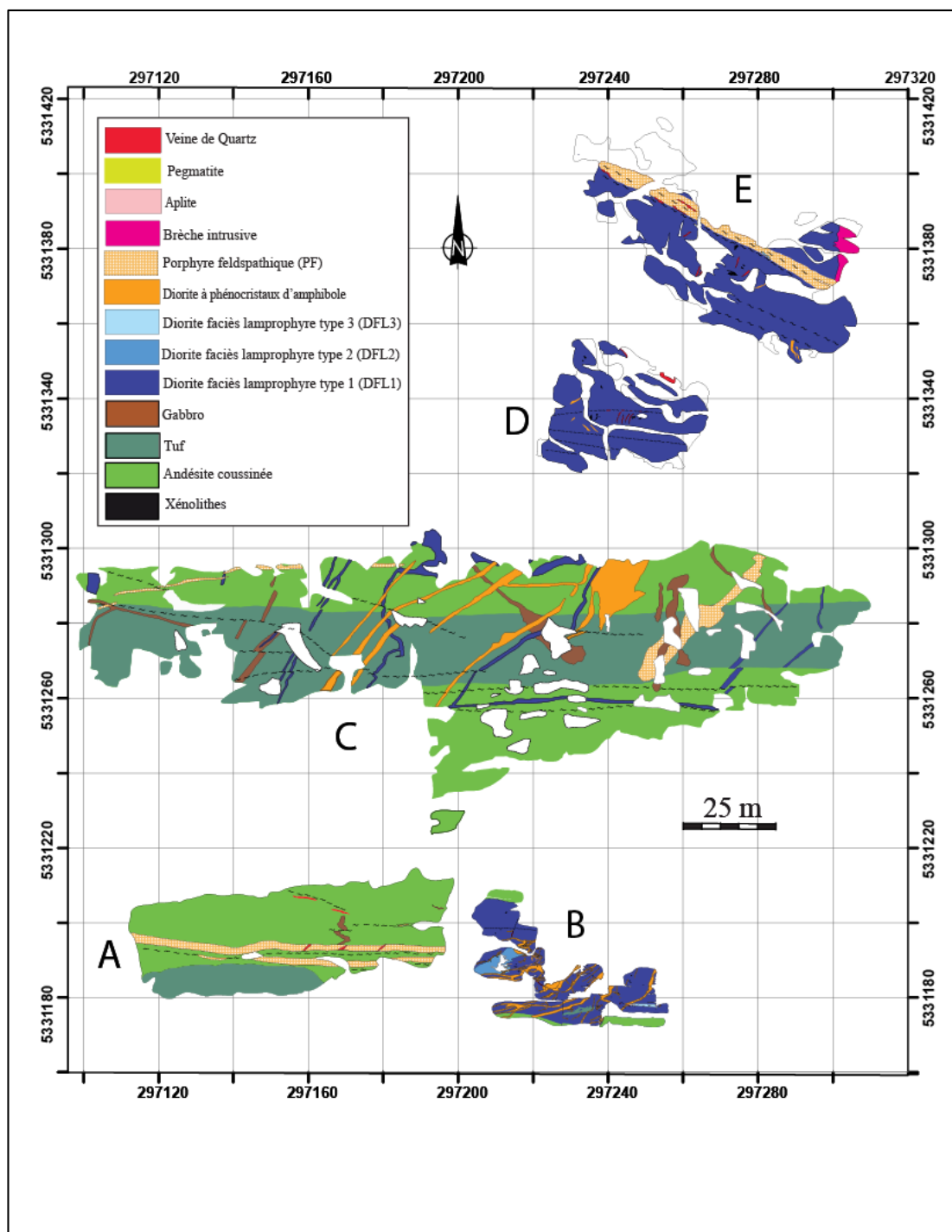


Figure 2.1 : Cartographie des affleurements Val-d'Or Est.

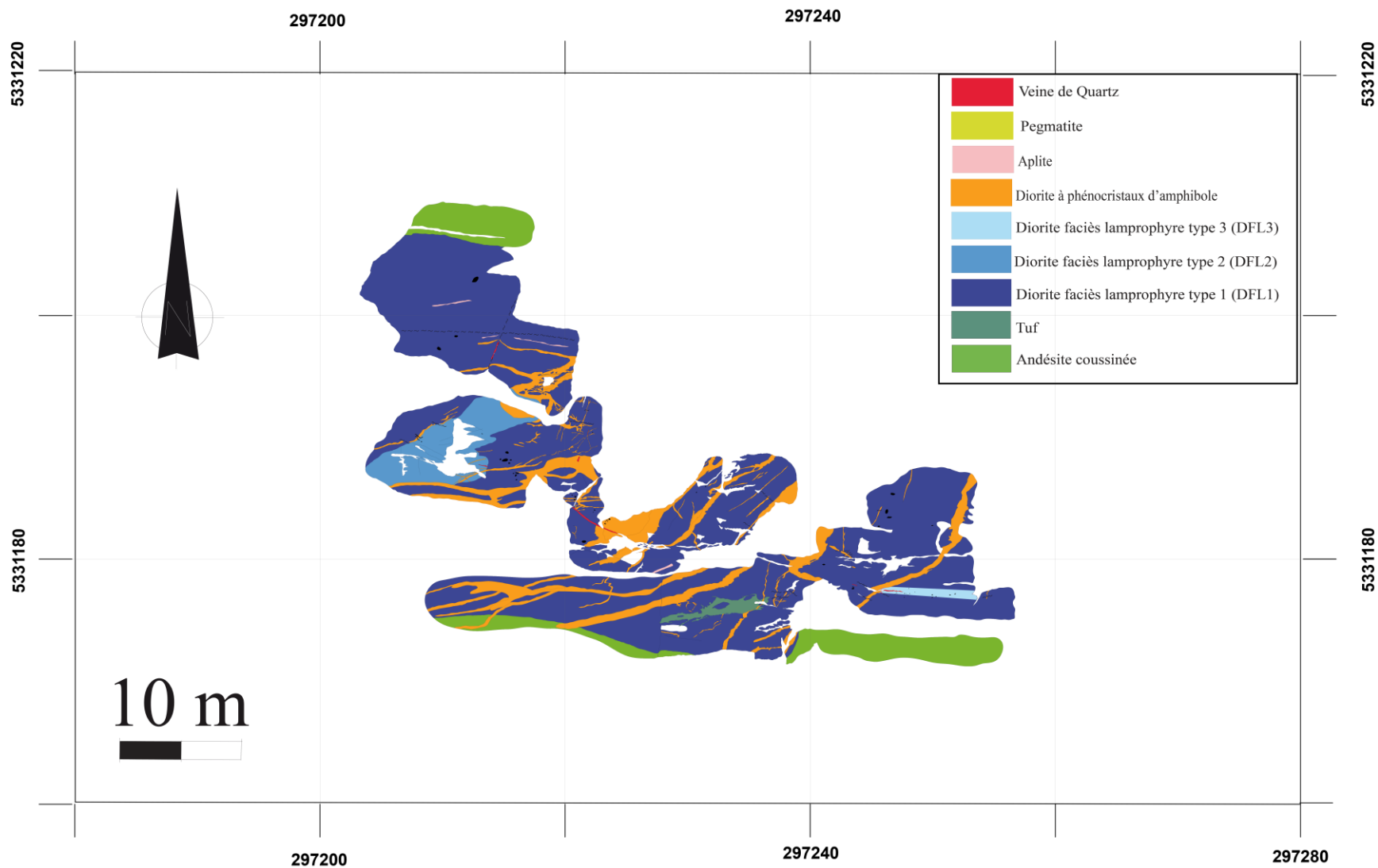


Figure 2.2 : Grossissement de l'affleurement B.

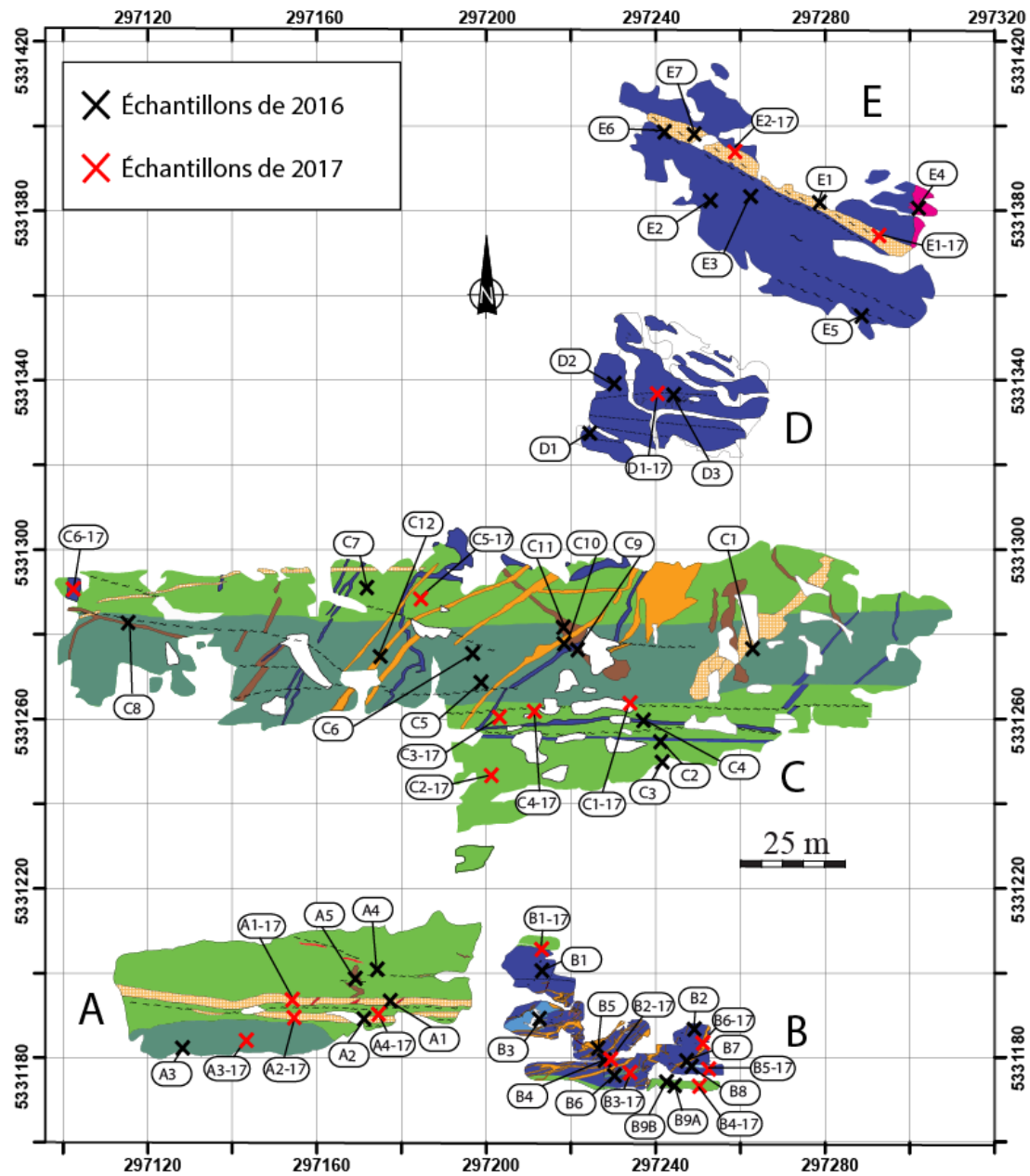


Figure 2.3 : Localisation des échantillons. La légende est la même qu'à la figure 2.1.

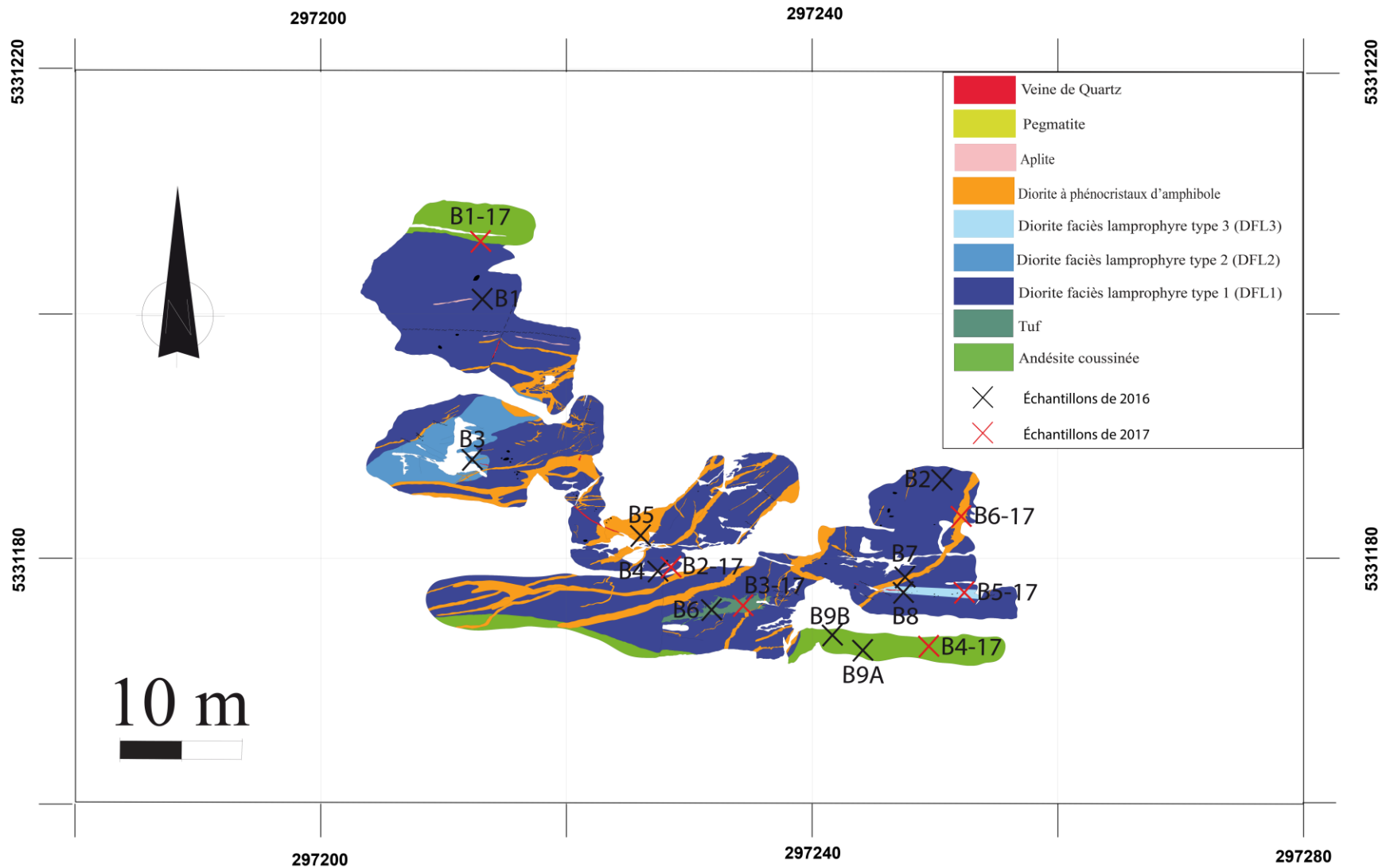


Figure 2.4 : Localisation des échantillons sur l'affleurement B.

2.2. Unités volcaniques

2.2.1-Andésite coussinée

Les laves coussinées sont présentes principalement sur les affleurements A et C, mais on peut en observer également sur l’affleurement B (Figures 2.1 et 2.2). Les coussins sont allongés dans la direction E-O avec un ratio longueur/largeur variant d’environ 4 :1 à 10 :1. En général, les coulées de lave présentent une épaisseur d’une dizaine à une vingtaine de mètres. Il est possible d’interpréter un sommet stratigraphique vers le sud (Scott, 2005). La roche montre une granulométrie aphanitique et est de couleur verdâtre. La schistosité est modérément marquée, d’orientation E-O et à pendage abrupt vers le nord.



Figure 2.5 : Photographie d’un coussin. La pointe du crayon indique le nord et sert d’échelle (affleurement A).

L'étude pétrographique présente une roche aphanitique à granulométrie fine avec une texture microlithique. La roche est composée de feldspaths qui sont les minéraux magmatiques, de biotite, séricite, épidote, carbonate, quartz, opaques, biotite et de chlorite qui sont les minéraux secondaires. Les carbonates et le quartz remplissent des amygdales, mais également des veinules et sont en général associés avec la chlorite et la biotite (Figure 2.6A). Les minéraux métamorphiques sont alignés à différents degrés dans le plan de foliation principale (décrit au chapitre structurale), comme la séricite (Figure 2.6B). Les plagioclases sont de petite taille et sont séricitisés (Figure 2.6C). L'épidote présente est typique de l'assemblage métamorphique aux schistes verts (2.6D).

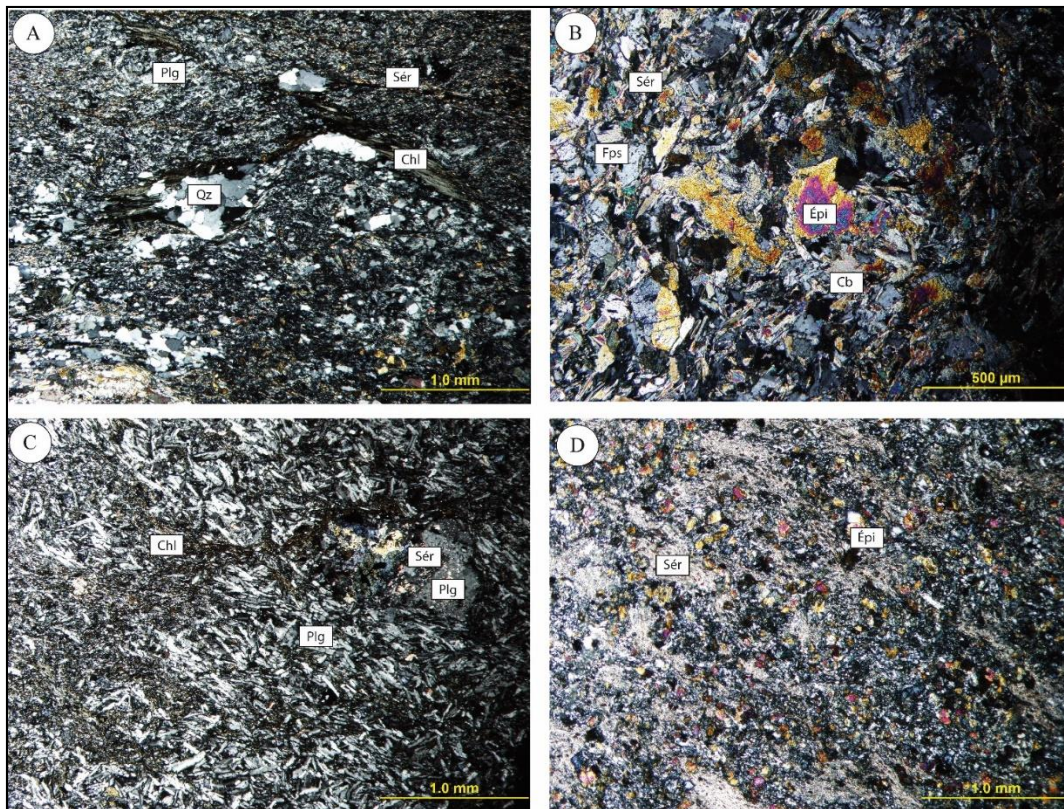


Figure 2.6 : Photographies de lames minces en lumière polarisée, lave coussinée. A) Quartz (Qz) en remplissage d'amygdales avec chlorite (Chl) associée. B) Séricite (Sér) avec direction préférentielle, l'épidote (Épi) recoupe les autres minéraux. C) Plagioclases (Plg) pseudomorphosés par la séricite. D) L'épidote recoupe les autres minéraux en place. Les photographies A, C et D présentent l'échantillon A4 et la photographie B présente l'échantillon C4 (Figure 2.3).

Tableau 2.1 : Synthèse des observations pétrographiques pour les roches volcaniques

Lithologie	LM	Opa	Épi	Chl- Bo	Hb verte	Ser	Qz	Fps	Cb	Act
Andésite coussinée N=5	A4	Tr	15	-	-	20	5	50	10	-
	B9A	Tr	15	40	-	30	5	10	-	
	B9B	1	25	8	-	5	10	50	Tr	
	C3	1-2	5	40	-	15	25	5	-	10
	C7	-	5	15	20	20	-	-	-	40

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations utilisées sont Fps=Feldspaths, Qz=Quartz, Bo=Biotite, Chl=Chlorite, Ser=Séricite, Épi=Épidote, Cb=Carbonate et Opa=Minéraux Opaques.

2.2.2-Tuf intermédiaire

Les unités de roches volcanoclastiques sont observées principalement sur les affleurements A et C, et dans une moindre mesure sur l’affleurement B. L’affleurement A présente un tuf à blocs et lapilli dont les fragments montrent en plan un ratio longueur/largeur de 5:1. Cette lithologie présente un plan de schistosité orienté E-O. La roche est globalement verdâtre avec une matrice aphanitique. Sur l’Affleurement C, l’unité volcanoclastique fait une dizaine de mètres d’épaisseur. Scott et al. (2002) ont décrit cette unité comme des tufs turbiditiques.

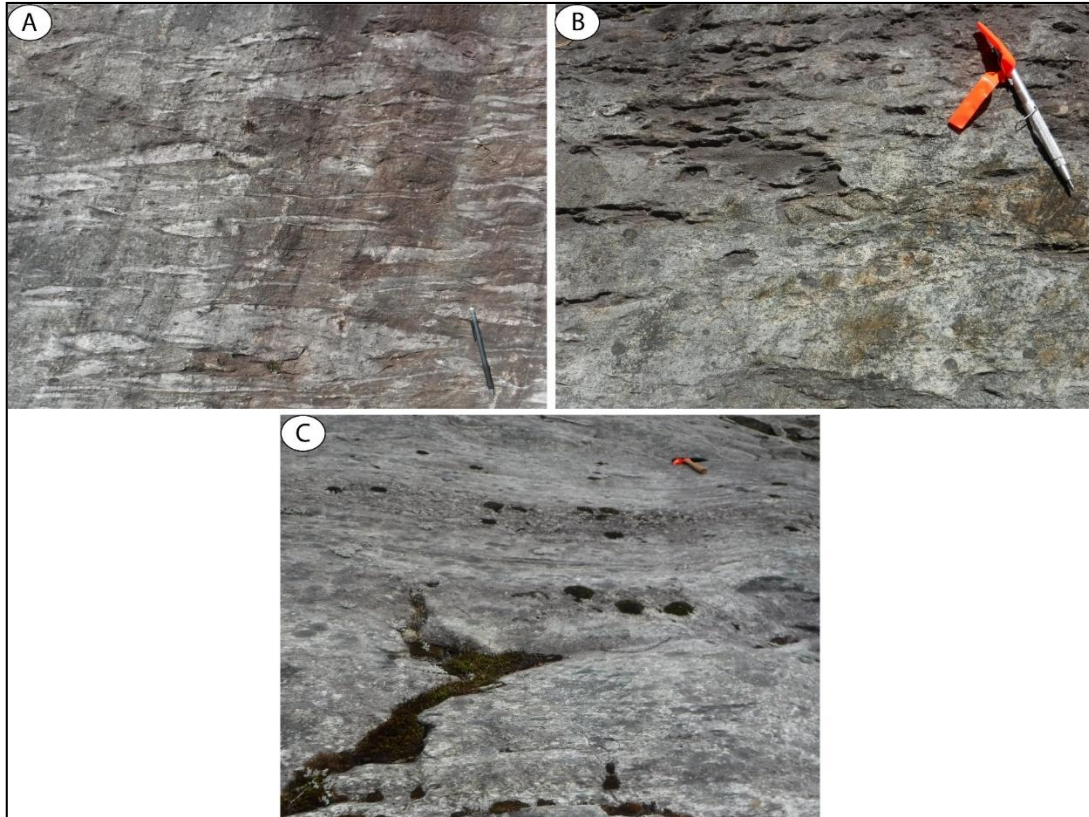


Figure 2.7 : Photographies des volcanoclastites présentes sur l’affleurement A. (A) = tuf à lapilli et à blocs; (B) tuf à lapilli; et (C) tuf turbiditique. Le stylo et le marteau indiquent le nord et servent d’échelle.

L’étude pétrographique présente une roche aphanitique à granulométrie fine pour la matrice et plus grossière pour les fragments. Elle indique une minéralogie composée de feldspaths comme minéraux magmatiques. Pour les minéraux secondaires, de l’épidote, du quartz, de la séricite, des minéraux opaques, actinote, de l’épidote, de la chlorite et de la biotite sont observés. Les plagioclases sont séricitisés (Figures 2.8A et 2.8B). Le quartz semble seulement en remplissage de petites amygdales et la biotite et l’actinote semblent en association avec ce dernier. La foliation est moins développée dans certains échantillons. Les carbonates sont généralement plus abondants dans les fragments. Les minéraux métamorphiques sont alignés à différents degrés dans le plan de foliation principale (décrit au chapitre structurale).

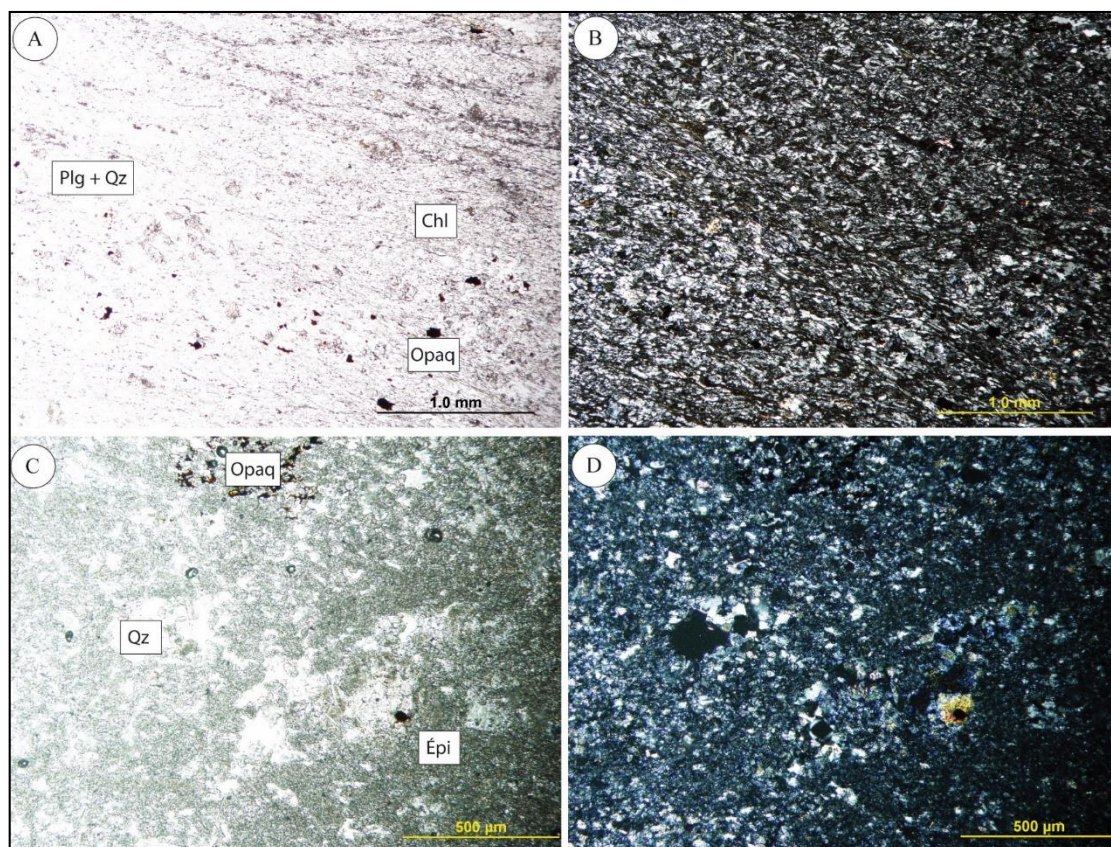


Figure 2.8 : Photographies de lames minces du tuf intermédiaire en lumière naturelle et lumière polarisée. A) et B) Matrice riche en plagioclases (Plg) pseudomorphosés par la séricite (Sér), présence également de chlorite (Chl) ayant une légère direction préférentielle. C) et D) Fragments riches en épidotes (Épi). Les photographies présentent l'échantillon A3 (Figure 2.3).

Tableau 2.2 : Synthèse des observations pétrographiques pour les roches volcanoclastiques.

Lithologie		Opa		Chl+Bo		Qz+Fps		Cb		Épi		Hb verte		Ser		Act	
Partie		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Tuf andésitique N=4	A3	1	Tr	35	-	65	10	-	40	1	50	-	-	-	-	-	-
	B6	-	-	5	5 ¹ 60 ²	25	15 ¹ 35 ²	-	-	70	75-80 ¹ 1 ²	-	-	5	-	-	-
	C5	-	-	45	30	15	55	-	-	30	5	-	-	10	5	-	5
	C6	-	Tr ¹	5	-	10	10 ¹ Tr ² 100 ³	-	Tr ¹	-	90 ¹	-	-	85	-	-	-
			-		10 ²				-		-		-		-		90 ²
			-		-				-		-		-		Tr ³		-
	C8	1	-	50	-	30	-	-	-	15	-	-	-	-	-	5	-

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations M et F représentent la matrice et les fragments. Les abréviations utilisées sont Plg=Plagioclases, Qz=Quartz, Bo=Biotite, Chl=Chlorite, Ser=Séricite, Épi=Épidote, Cb=Carbonate, Act=Actinote et Opa=Minéraux Opaques. Les chiffres 1,2 et 3 représentent le type de fragments lorsqu'il y en a plusieurs.

2.3-Unités intrusives

Les unités intrusives sont décrites selon les principales familles en tenant compte des relations chronologiques visibles sur le terrain. Ainsi, le gabbro est la première phase intrusive à recouper les volcanites et est interprété comme étant synvolcanique. Par la suite on décrira les différentes familles de diorites à faciès lamprophyrique (DFL) recoupées par une famille de dykes de diorite à phénocristaux d'amphibole (DPA), et une famille de porphyre de feldspath qui présentent une problématique spécifique (plusieurs variétés) à l'égard de leur chronologie respective avec les autres phases. La discussion à la fin de ce chapitre permettra de faire le point sur leurs chronologies. Enfin, on présentera les aplites interprétées comme une phase tardive.

2.3.1-Gabbro

L'unité de gabbro est présente sur les affleurements A et C. Ces dykes recoupent les lithologies volcaniques avec un contact diffus. Ces dykes ont plusieurs orientations: N-S, NE-SO et NO-SE. Ils sont de couleur vert foncé et sont aphanitiques. Sur l'affleurement A, un dyke de ce type est plissé et est déplacé par une faille à mouvement apparent dextre. Ils sont interprétés comme synvolcaniques (Scott, 2005) et les observations supportent cette interprétation. Ils sont recoupés par les autres lithologies intrusives. En général, l'épaisseur de ces dykes est de l'ordre du décimètre.

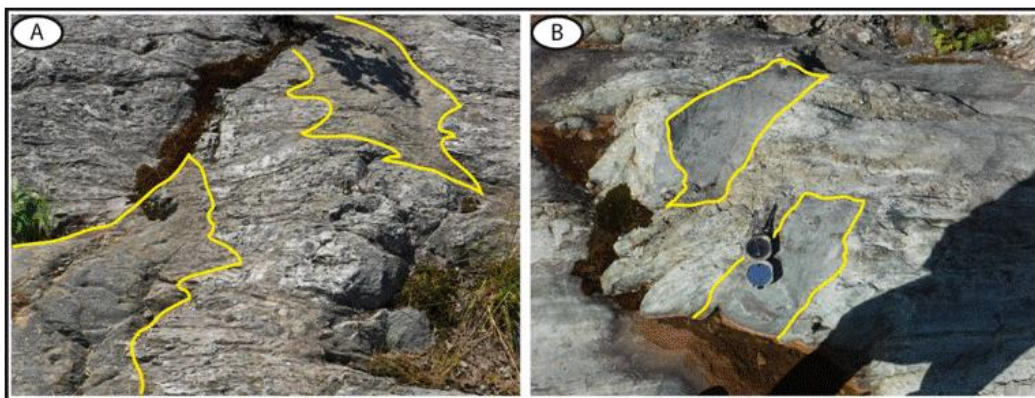


Figure 2.9 : Gabbro (délimité en jaune) encaissé dans des roches volcaniques coussinées (A) et dans des tufs (B).

Les dykes de gabbros présentent une granulométrie fine. Les minéraux magmatiques sont des feldspaths et du quartz. Les minéraux secondaires sont la chlorite, l'actinote, l'épidote, la séricite et les minéraux opaques. Les pourcentages observés pour chaque phase minérale sont présentés au tableau 2.4. Les minéraux métamorphiques sont alignés à différents degrés dans le plan de foliation principale (décrits au chapitre structurale; Figure 2.10).

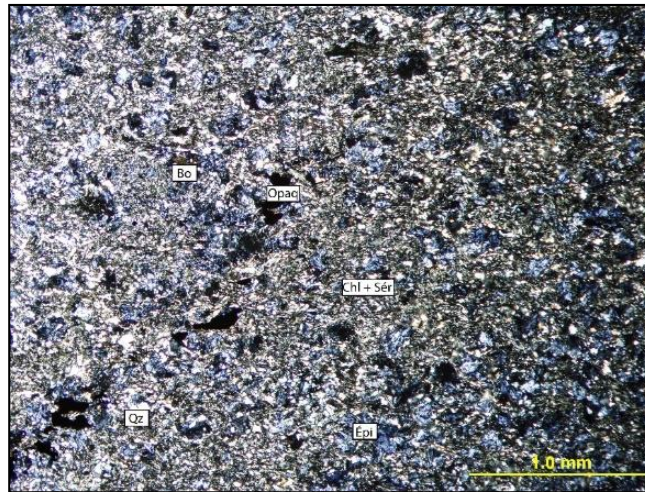


Figure 2.10 : Photographie d'une lame mince d'un dyke de gabbro en lumière polarisée. On note la présence de chlorite (Chl) et de séricite (Sér). La photographie présente l'échantillon A5 (Figure 2.3).

Tableau 2.3 : synthèse des observations pétrographiques pour le gabbro (N=2)

Lithologie	Ech	Opa	Épi	Chl+Bo	Ser	Qz	Plg	Act
Gabbro N=2	A5	1	20	40	1	Tr	2	3
	C11	-	15	50	Tr	15	20	-

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations utilisées sont Fps=Feldspaths, Qz=Quartz, Bo=Biotite, Chl=Chlorite, Ser=Séricite, Épi=Épidote, Cb=Carbonate et Opa=Minéraux Opaques.

2.3.2-Diorite de faciès lamprophyre (DFL)

Plusieurs unités de diorite de faciès lamprophyre (DFL) ont été individualisées sur le terrain bien qu'elles partagent toutes des caractéristiques communes. Ces unités ont été cartographiées et interprétées comme des lamprophyres par Pilote (2000) et Scott (2005), mais sont désignées ici comme faciès lamprophyre de manière descriptive, car les

lamprophyres peuvent être difficiles à identifier sur le terrain (Mathieu et al., 2017). Les lamprophyres peuvent contenir des macrocristaux d'amphibole et de biotite, de nombreux xénolithes et de petites structures globuleuses (1-2 mm) similaires aux ocellies (textures d'immiscibilité liquide selon Rock (1991).

La DFL1 est dominante sur les affleurements B, D et E, elle se présente sous forme de dykes sur l'affleurement C. Les dykes de l'affleurement C sont orientés globalement NE-SO et plus localement E-O. Cette unité est de couleur verdâtre avec des grains vert foncé. On y observe également des xénolithes qui pourraient être vraisemblablement assignés à la diorite à hornblende typique du Pluton de Bourlamaque. La granulométrie de ces xénolithes est moyenne avec la présence de phénocristaux d'amphibole et de biotite. La dominance du faciès DFL1 sur les affleurements B, D et E rend difficile l'interprétation de la morphologie et de l'épaisseur de l'intrusion. Il peut s'agir d'un petit stock ou d'un dyke de plus grande envergure. Les dykes de l'affleurement C ont une épaisseur inférieure au mètre.



Figure 2.11 : Photographies de diorite de faciès lamprophyre DFL1. Les photos A) et C) montrent des xénolites (entourés en jaune) (affleurement B); B) veines de quartz; et D) xénolithe et veine de quartz-tourmaline.

L'étude pétrographique présente une roche avec des phénocristaux d'amphibole (5%-20%) et de biotite dans une matrice fine de feldspath, épidote (5%-20%), carbonate, minéraux opaques et chlorite. Les pourcentages observés pour chaque minéral sont présentés au tableau 2.4. Les lames minces seront décrites en référence aux affleurements, car bien que les échantillons soient semblables au niveau mégascopique, ils se distinguent en lames minces. Les échantillons de l'affleurement B ont de la hornblende verte de forme hexagonale, de 3 mm de diamètre au maximum. Les amphiboles sont altérées par la séricite, la biotite, la chlorite et de l'épidote situés en bordure et au travers des minéraux (Figures 2.12A, 2.12B, 2.12C et 2.12D). Le quartz est présent en amas avec des jonctions triples à 120°. L'épidote présente deux tailles : une granulométrie très fine dans les plagioclases et une plus grossière dans la matrice. Les feldspaths sont fins et altérés.

Les échantillons de l'affleurement D sont semblables à part un des échantillons prélevés dans une zone de cisaillement. La chlorite et la biotite sont retrouvées en amas. La chlorite déstabilise la biotite, un processus lié au métamorphisme rétrograde. Les feldspaths sont de 2 mm de diamètre au maximum et sont altérés en séricite et en épidote. L'échantillon prélevé dans la zone de cisaillement ne possède pas de phénocristaux de hornblende verte. Les échantillons de l'affleurement E contiennent une importante proportion de reliques de plagioclases. Ils sont déstabilisés en séricite et en épidote. Dans un des échantillons, aucun phénocristal d'amphibole n'est observé (Figure 2.12E et 2.12F). Lorsque les amphiboles sont présentes, elles sont altérées par la chlorite, les carbonates et l'actinote.

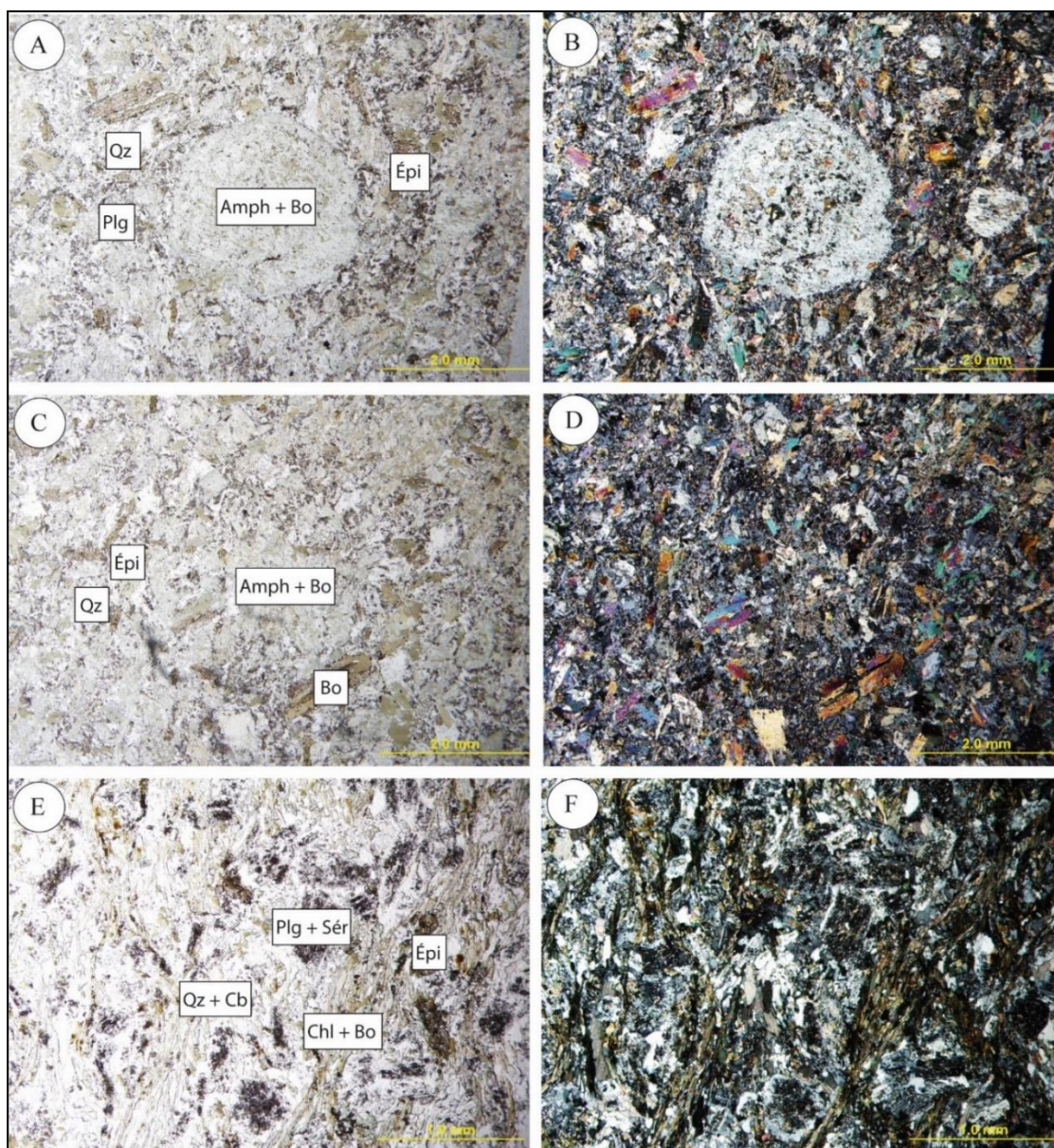


Figure 2.12 : Photographies de lames minces de dykes de DFL1 en lumière naturelle et en lumière polarisée. A), B), C) et D) Épidote (Épi) est associée à la chlorite (Chl) et à la biotite (Bo) et semble recouper les minéraux. E) et F) Absence des phénocristaux d'amphibole et présence de phénocristaux de plagioclases (Plg). Les phénocristaux sont pseudomorphosés par la séricite (Sér) et il y a présence d'une direction préférentielle avec la chlorite (Chl) et la biotite (Bo). Les photographies A, B, C et D présentent l'échantillon B1 et les photographies E et F présentent l'échantillon E3 (Figures 2.3 et 2.4).

Une deuxième unité de diorite de faciès lamprophyrique est reconnue sur le terrain et désignée DFL2. L'unité DFL2 se présente sous la forme d'un dyke sur l'affleurement B (Figure 2.2). Ce dyke orienté NE-SO recoupe l'unité DFL1 décrite précédemment. Il se distingue de la lithologie DFL1 par sa granulométrie globalement plus fine et une couleur plus claire. Le dyke DFL2 a une épaisseur apparente de 4 mètres.

Au niveau pétrographique (1 seul échantillon à cause du fait que cette unité n'apparaît qu'une fois), l'unité présente des phénocristaux d'amphibole (1%), d'épidote (1%) et de feldspath (1%) dans une matrice à granulométrie fine (Figures 2.13A et 2.13B). L'épidote, les carbonates, la séricite, la hornblende verte, les minéraux opaques, la chlorite et la biotite sont les minéraux secondaires de cette lithologie (Figures 2.13C et 2.13D). Les pourcentages observés pour chaque minéral sont présentés au tableau 2.4. Il est possible d'observer la déstabilisation de la biotite par la chlorite.

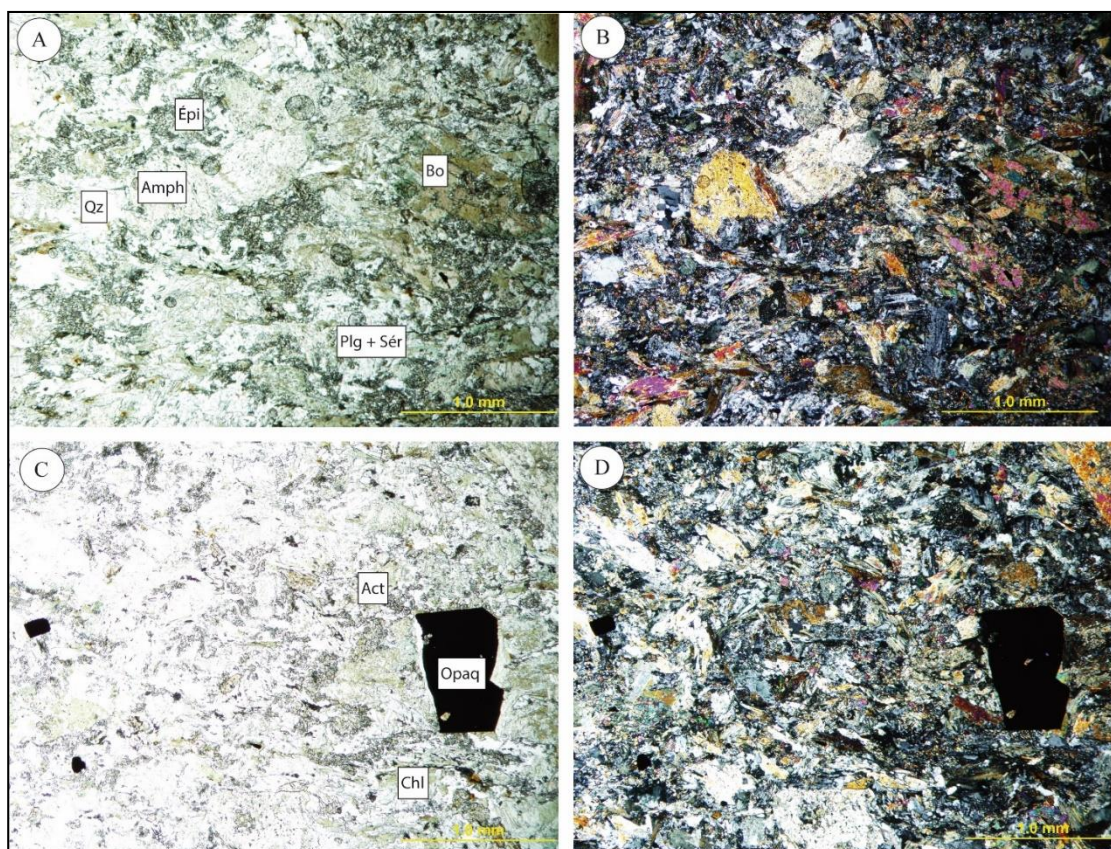


Figure 2.13 : Photographies de lames minces de l'unité DFL2 en lumière naturelle et en lumière polarisée. A) et B) Phénocristaux d'amphiboles (Amph) et de biotite (Bo) au travers d'une matrice de quartz (Qz) et plagioclases (Plg) pseudomorphosés par de la séricite (Sér). C) et D) Présence de minéraux opaques (Opaq) et de cristaux de carbonates (Cb) en remplissage d'amygdales. Les photographies A, B, C et D présentent l'échantillon B3 (Figure 2.4).

L'unité de DFL3 est présente sur l'affleurement B (Figure 2.2) sous la forme de dykes submétriques de direction NE à localement E-W. Le contact avec le DFL1 est diffus et difficile à délimiter. Il est très semblable à l'unité DFL1, mais le DFL3 possède une plus grande quantité de minéraux mafiques et de nombreux xénolithes de DFL1. L'unité est de couleur verdâtre et contient des phénocristaux vert foncés. La granulométrie est moyenne.

Un seul représentant du DFL3 a été prélevé pour l'étude pétrographique, car pour cette unité également il n'y a qu'une seule occurrence de sa présence. Des phénocristaux d'amphiboles (2-3%) au travers d'une matrice feldspathique de granulométrie moyenne à fine (Figures 2.14A et 2.14B) sont observés. L'épidote, la séricite, la hornblende verte, les minéraux opaques, la chlorite et la biotite sont les minéraux secondaires de cette lithologie. Les pourcentages observés pour chaque minéral sont présentés au tableau 2.4. Les

phénocristaux de hornblende verte sont remplacés par la chlorite et la biotite. La biotite est déstabilisée en partie par la chlorite.

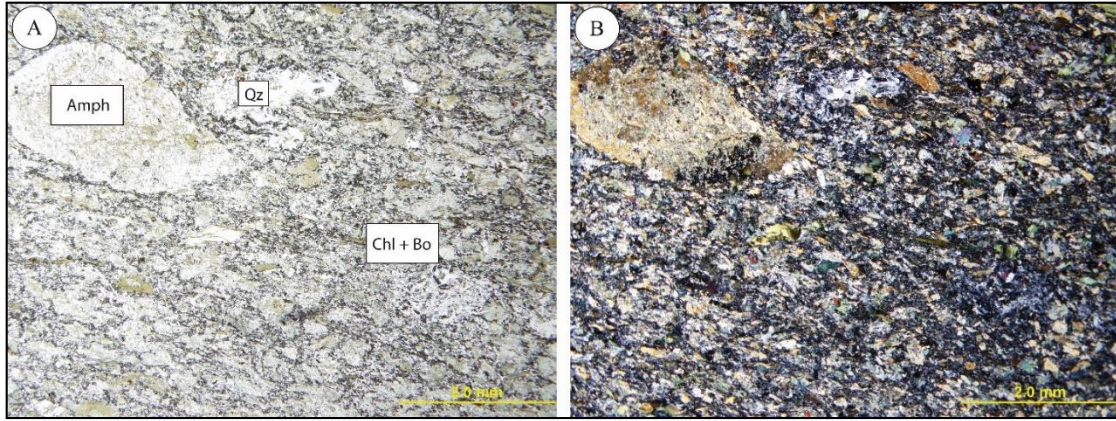


Figure 2.14 : Photographies de lames minces du dyke de DFL3 en lumière naturelle et en lumière polarisée. A) et B) Phénocristaux d'amphiboles (Amph) dans une matrice d'amphiboles, de chlorite-biotite (Chl+Bo) et de quartz (Qz) en remplissage d'amygdales. Les photographies A et B présentent l'échantillon B8 (Figure 2.4).

Tableau 2.4 : synthèse des observations pétrographiques pour l'unité de DFL.

Lithologie	Ech	Opa	Épi	Chl-Bo	Ser	Qz	Fps	Hb verte	Cb	Act
DFL1 N=9	B1	Tr	5-10	15	5-10	5	30	25	1	5
	B2	Tr	15-20	15-20	Tr	5	25-30	30	Tr	20
	C2	5	25	5-10	-	<5	20	10- 15	10	10
	C4	Tr	5	30	5-7	20	10	-	1	25
	C9	-	15	17	15	3	10	25	-	15
	D1	-	10-15	15-20	5-10	5	25	25	1-2	-
	D3	5-7	<5	35	<5	10	30	-	-	-
	E2	Tr	10	10	<5	10	30	20	Tr	15
	E3	-	5	30	Tr	10	45	-	5	-
DFL 2 N=1	B3	<5	<5	25	5	5	15	35	5	-
DFL 3 N=1	B8	-	5-10	15-20	5	<5	<5	50	1	-

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations des minéraux observés sont Fps=Feldspaths, Qz=Quartz, Bo=Biotite, Chl=Chlorite, Ser=Séricite, Épi=Épidote, Cb=Carbonate, Hb verte=Hornblende verte, Act=Actinote et Opa=Minéraux Opaques.

2.3.3- Porphyres feldspathiques (PF)

Des dykes de porphyre feldspathique (PF) sont présents sur les affleurements A, C et E. Ces dykes sont divisés en 4 sous-familles, PF1 à PF4, du sud vers le nord respectivement, car ils présentent des variations dans la taille et l'abondance des phénocristaux de feldspath. Les différents échantillons récoltés présentent des différences au niveau de la minéralogie (Tableau 2.5) et de l'assemblage des minéraux.

Le dyke de PF1 (échantillon A2), le plus au sud, est de direction E-W et fait 1 m d'épaisseur et se suit sur près de 60 m disparaissant vers l'ouest. Ce dyke contient moins de 5% de phénocristaux de feldspath de dimension inférieure à 1 mm. Les phénocristaux sont fortement épidotisés et la matrice est chloriteuse et présente une forte orientation préférentielle.

Le dyke de PF2 est situé juste au nord du PF1 (à 2 mètres). Il fait un peu plus de 1 m d'épaisseur et possède la même orientation E-W. Il contient beaucoup plus de phénocristaux de feldspath (10-15%), dont la taille est supérieure à 2 mm en lame mince. Sur le terrain, il est possible d'observer des phénocristaux jusque 6 mm de long.

Le dyke de PF2 peut se suivre sur plus de 80 m et possède un pendage abrupt vers le nord, de 70 à 80 degrés. Ce dyke est recoupé par des veines de quartz de direction NE circonscrites en son sein (voir chapitre structure). Il s'apparente à ce qui a été désigné comme étant le type G (G-dyke) dans la nomenclature de la mine Sigma (Robert et Brown, 1986a). Les deux dykes (PF1 et PF2) semblent être recoupés par les phases de DFL qui dominant sur l'affleurement B plus à l'est.

Le dyke PF3 se distingue des deux premiers par son orientation NE sur l'affleurement C. Il est d'apparence bleutée, avec 2-3% de phénocristaux de feldspath dont la taille moyenne est de 1 mm pour les plus gros. La granulométrie de la matrice est fine. L'épaisseur du dyke varie entre 1 et 4 mètres.

Le dyke de PF4 est aussi différent en termes d'orientation. Il est localisé sur l'affleurement E et possède une direction SE. Son épaisseur est de 2 m et il peut se suivre sur plus de 60 m. Il contient jusqu'à 5% de phénocristaux de feldspath dont la taille est inférieure à 5 mm. Pour les échantillons E1, E6 et E7, les proportions et la grosseur des phénocristaux varient d'une lame à une autre. Ils sont altérés, très foliés et sont riches en séricite (Figure 2.16A, 2.16B et 2.16E).

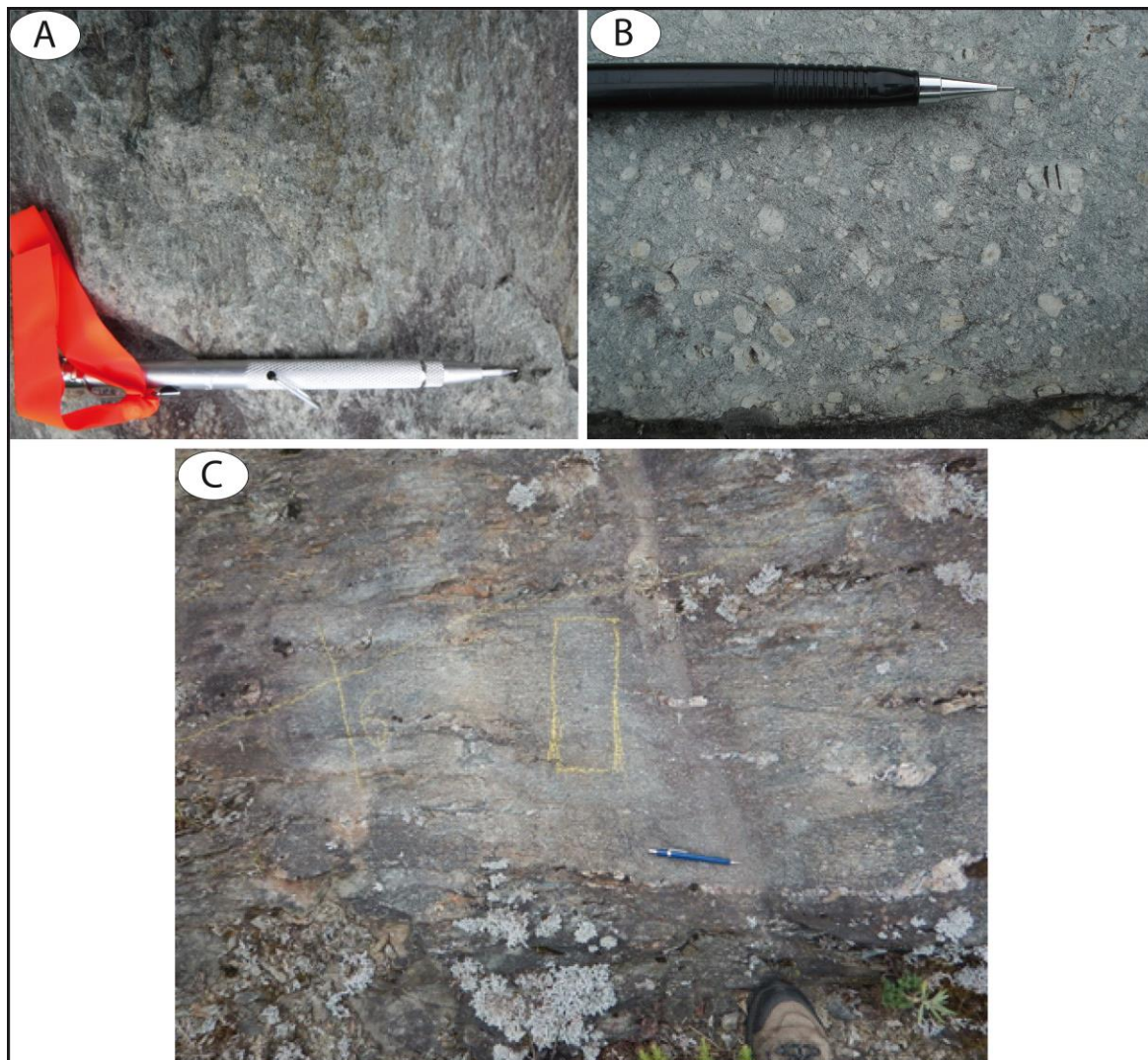


Figure 2.15 : Porphyre feldspathique (FP). (A) Photographie du dyke PF1 situé sur l’affleurement A. (B) Photographies du dyke PF2 situé sur l’affleurement A. Notez la taille des phénocristaux de feldspaths. (C) Photographie du dyke PF4 situé sur l’affleurement E.

Globalement, l'ensemble des dykes présente des feldspaths pseudomorphiques baignant dans une matrice feldspathique à grains plus fins et contenant de la chlorite. Les minéraux secondaires sont le quartz, l'épidote, les minéraux opaques, la séricite, l'actinote, les opaques, les carbonates, la chlorite et la biotite.

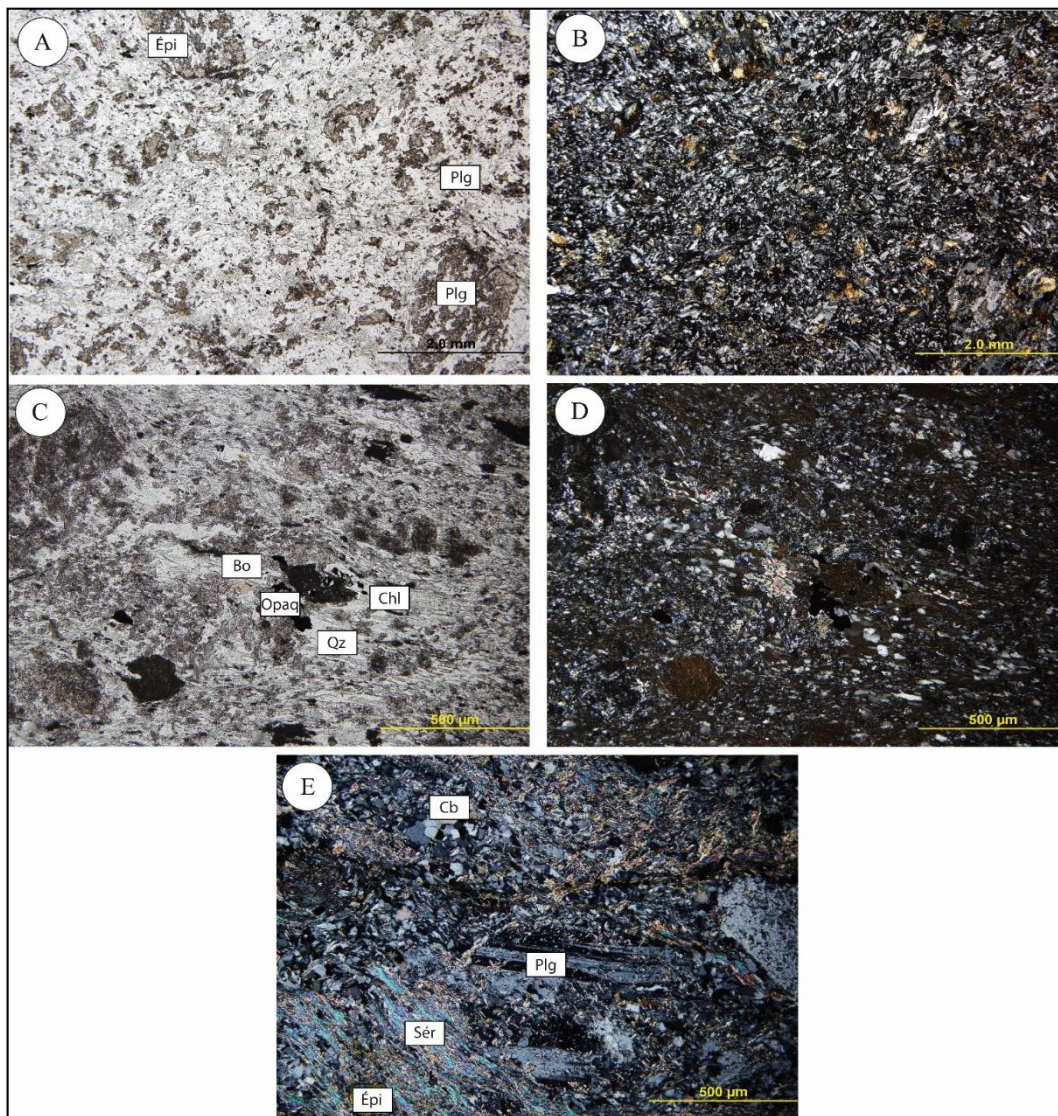


Figure 2.16 : Photographies de lames minces de dykes de PF en lumière naturelle et en lumière polarisée. A), B) et E) Phénocristaux de plagioclase (Plg) pseudomorphosés par la séricite (Sér). La séricite et la chlorite marquent une direction préférentielle. L'épidote (Épi) semble recouper tous les autres minéraux. C) et D) Minéraux opaques (Opaq) en association avec du quartz (Qz), de la chlorite (Chl) et de la biotite (Bo). Les photographies A et B présentent le PF2 (échantillon A1), les photographies C et D présentent le PF1 (échantillon A2) et la photographie E présente le PF4 (échantillon E7) (Figure 2.3).

Tableau 2.5 : Synthèse des observations pétrographiques

Lithologie	No	Ech	Op a	Épi	Chl -Bo	Ser	Qz	Fps	Cb	% phéno.	Taille phéno (mm)
PF N=6	PF2	A1	-	25	10- 15	15	Tr	45- 50	-	10-15%	2-3
	PF1	A2	1-2	45	45	-	<5	<5	-	1%	<1
	PF3	C1	1-2	45	5- 10	15	5	20	-	2-3%	1
	PF4	E1	1-2	5	25	5	10	45	<5	5%	5 à 1
	PF4	E6	1-2	<5	25	20	5- 10	20	5	2-3%	5 à 1
	PF4	E7	1	<5	15	20	10	40	5	2-3%	5 à 1

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations utilisées sont Fps=Feldspaths, Qz=Quartz, Bo=Biotite, Chl=Chlorite, Ser=Séricite, Épi=Épidote, Cb=Carbonate, Hb verte=Hornblende verte, Act=Actinote et Opa=Minéraux Opaques.

2.3.6-Diorite à phénocristaux d'amphibole (DPA)

L'unité de diorite à phénocristaux d'amphibole (DPA) se présente sous la forme de dykes ayant une orientation NE-SO sur les affleurements B et C et une direction NNE sur les affleurements D et E. Ils sont de couleur blanchâtre à grisâtre et il est possible d'observer des phénocristaux d'amphibole qui se présentent comme des grains verdâtres. Les phénocristaux ont une taille moyenne de 1 mm. La granulométrie de la matrice est fine à moyenne. Ce type de dyke présente des épaisseurs apparentes décimétriques à métriques.

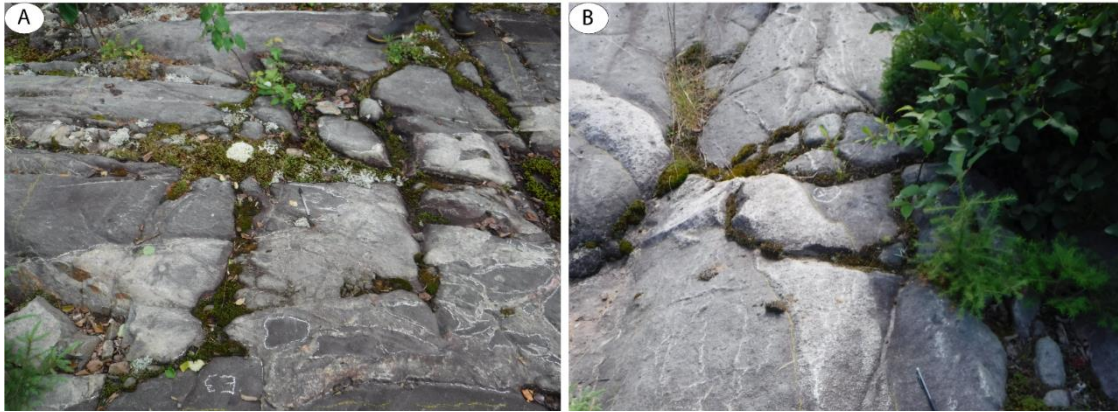


Figure 2.17 : Diorite à phénocristaux d'amphibole encaissée dans la DFL1. Le crayon indique le nord et sert d'échelle. (A) Affleurement B; (B) Affleurement E.

Au niveau pétrographique, les dykes DPA contiennent des phénocristaux de feldspaths (5-15%) et/ou d'amphibole (0-10%) au travers d'une matrice de granulométrie fine. Les minéraux magmatiques sont les feldspaths et le quartz. L'épidote, la séricite, la hornblende verte, les carbonates, les minéraux opaques, la chlorite et la biotite sont les minéraux secondaires de cette lithologie. Les pourcentages observés pour chaque minéral sont présentés au tableau 2.6. Dans cette lithologie sont observés des amas de biotite et d'amphibole ou de biotite seule (Figure 2.18A et 2.18B). Au travers de ces amas, les minéraux opaques sont présents. Selon les lames minces, il y a plus ou moins d'amphiboles et les cristaux de quartz, de feldspaths et de biotite sont plus grossiers (Figures 2.18C et 2.18D).

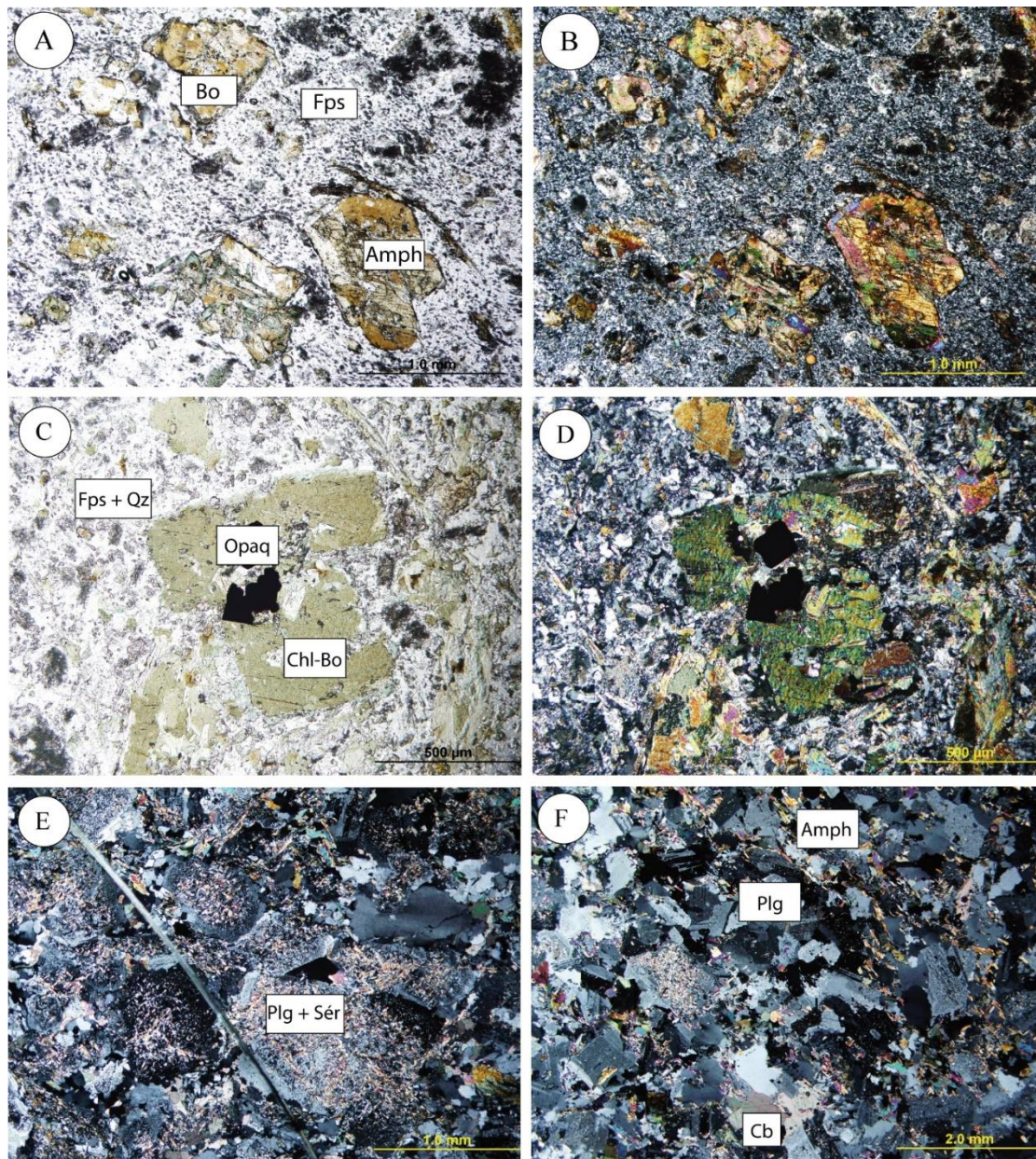


Figure 2.18 : Photographies de lames minces de dykes de DPA en lumière naturelle et en lumière polarisée. A) et B) Amas de biotite (Bo) et amphiboles (Amph) formés de cristaux grossiers. Les feldspaths sont de granulométrie plus fine. C) et D) Présence des minéraux opaques (Opaq) au travers d'amas de biotite-chlorite (Bo-Chl) et amphiboles (Amph). E) Plagioclases (Plg) pseudomorphosés par la séricite (Sér). F) Plagioclases de granulométrie plus grossière. Les photographies A et B présentent l'échantillon C12, les photographies C et D présentent l'échantillon B7, la photographie E présente l'échantillon D2 et la photographie F présente l'échantillon E5 (Figures 2.3 et 2.4).

Tableau 2.6 : Synthèse des observations pétrographiques

Lithologie	Ech	Opa	Epi	Chl+Bo	Ser	Qz	Fps	Act	Hb Verte	Cb
DPA N=6	B5	-	<5	15	10- 15	5	55-60	-	-	-
	B7	Tr	<5	10-15	5	5	55	-	5-10	<5
	C10	-	5	15	15	5	50	10	-	Tr
	C12	-	5	25	10	25	30	-	5	-
	D2	-	2	7	30	15	35	-	-	5-10
	E5	-	<5	10-15	5	15- 20	40	-	-	<5

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations des minéraux observés sont Fps=Feldspaths, Qz=Quartz, Bo=Biotite, Chl=Chlorite, Ser=Séricite, Épi=Épidote, Cb=Carbonate, Hb verte=Hornblende verte et Opa=Minéraux Opaques.

2.3.8. Brèche intrusive

L'unité de brèche intrusive est présente sur l'affleurement E seulement. La brèche est en contact net avec l'unité de DFL1 et est délimitée au sud par une zone de cisaillement. Il est difficile d'établir qui de la brèche ou de la DFL1 recoupe l'autre. Le contact avec l'unité DFL1 est orienté N-S. La brèche comprend 80% de fragments arrondis de taille décimétrique dans une matrice aphanitique verte. Les fragments sont de deux types principaux : 1) des fragments de teinte verdâtre mafiques ; et 2) des fragments de teinte blanchâtre felsiques et similaires à la phase de DPA décrite précédemment. L'exposition de la brèche sur quelques mètres carrés ne permet pas d'attribuer de forme ni de donner d'épaisseur.



Figure 2.19 : Photographie de la brèche intrusive. Le crayon indique le nord et sert d'échelle (Affleurement E).

L'étude pétrographique indique une matrice avec une granulométrie aphanitique, semblant être d'origine ignée. Les figures 2.20 A et B montrent le contact entre la matrice et un fragment. La matrice est plus riche en chlorite et épidote. Le fragment a une taille plus grossière avec la présence de phénocristaux de plagioclases (10%). Les minéraux présents sont le feldspath, le quartz et la hornblende. Les minéraux secondaires sont la séricite, l'épidote, les minéraux opaques, les carbonates et la chlorite. Les plagioclases sont séricitisés et il est possible d'observer de la chlorite et de la hornblende verte au travers des cristaux et à leur abord. Les cristaux de quartz sont présents en amas.

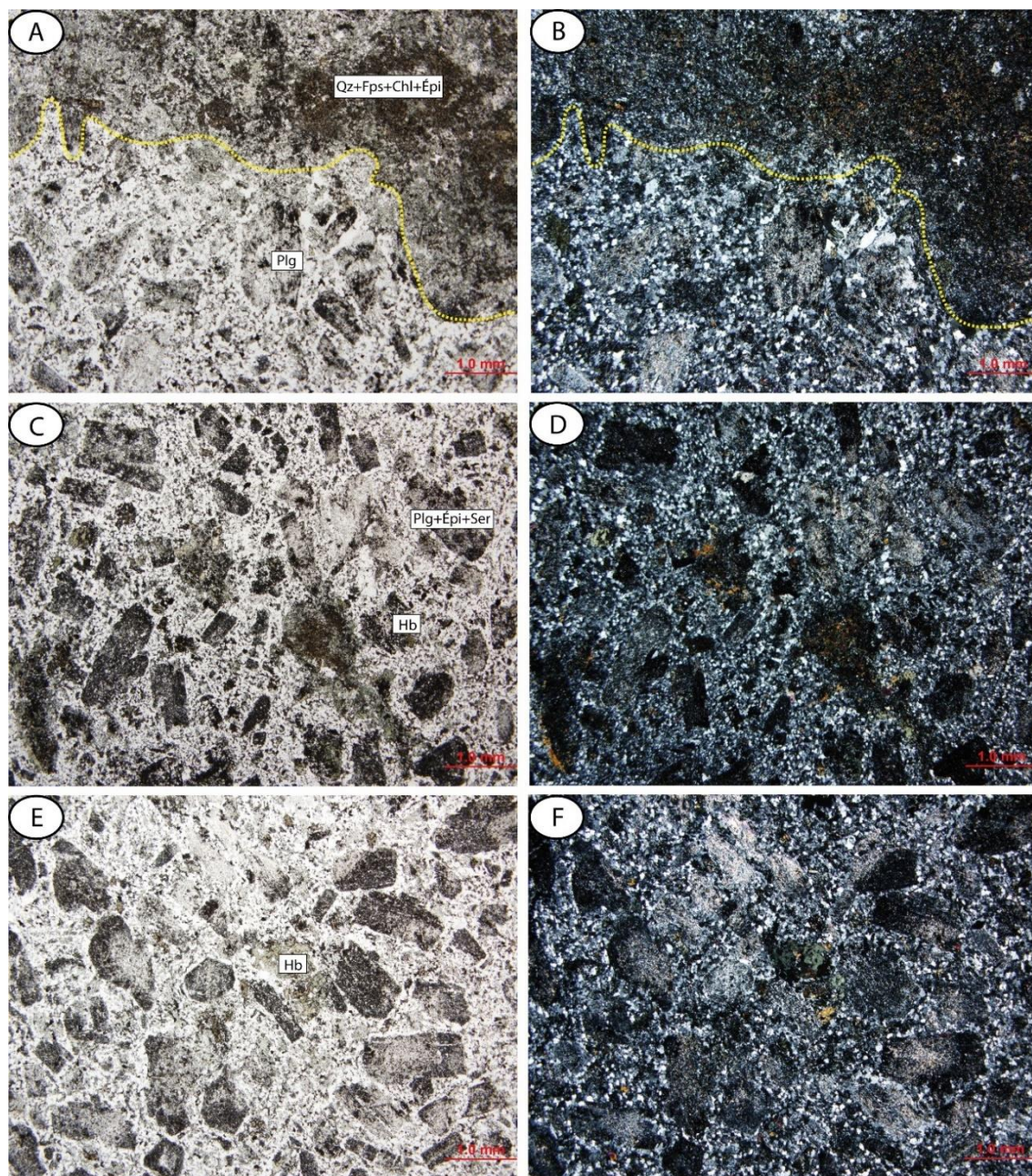


Figure 2.20 : Photographies de lames minces en lumière naturelle et lumière polarisée pour l'unité de brèche intrusive. A) et B) Contact entre un fragment et la matrice en tirets jaune. Matrice aphanitique riche en quartz (Qz), feldspaths (Fps), chlorite (Chl) et épidote (Épi) et fragments avec phénocristaux de plagioclases (Plg). C) et D) Les plagioclases sont pseudomorphosés par la séricite (Ser) et l'épidote (Épi), il y a également présence de hornblende (Hb). E) et F) Phénocristaux de plagioclases et présence de hornblende (Hb). Les photographies A à E présentent l'échantillon E4 (Figure 2.3).

Lithologie	Ech	Opa		Chl		Qz		Fps		Hb verte		Epi		Cb		Ser	
Partie		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Brèche N=1	E4	<5	<5	40	5	5	35	5-10	10	Tr	<5	25	5	-	Tr	15	15

Tableau 2.7 : Synthèse des observations pétrographiques pour la brèche intrusive

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations M et F représentent la matrice et les fragments. Les abréviations utilisées sont Fps=Feldspaths, Qz=Quartz, Ser=Séricite, Épi=Épidote, Cb=Carbonate, Hb verte=Hornblende verte et Opa=Minéraux Opaques.

2.3.9. Aplite

L'aplite est uniquement présente sur l'affleurement B sous la forme de dykes orientés E-O. Cette unité est de couleur jaune blanchâtre. Il est impossible de voir les minéraux à l'œil nu. Les dykes sont d'épaisseur centimétrique à décimétrique.

Au niveau pétrographique, cette unité présente des cristaux de plagioclases (5%) au travers d'une matrice de granulométrie fine. Les minéraux magmatiques sont représentés par les feldspaths. L'épidote, le quartz, la séricite, la chlorite et la biotite sont les minéraux secondaires. Les pourcentages observés pour chaque minéral sont présentés par le tableau 2.8. Les plagioclases sont séricitisés.

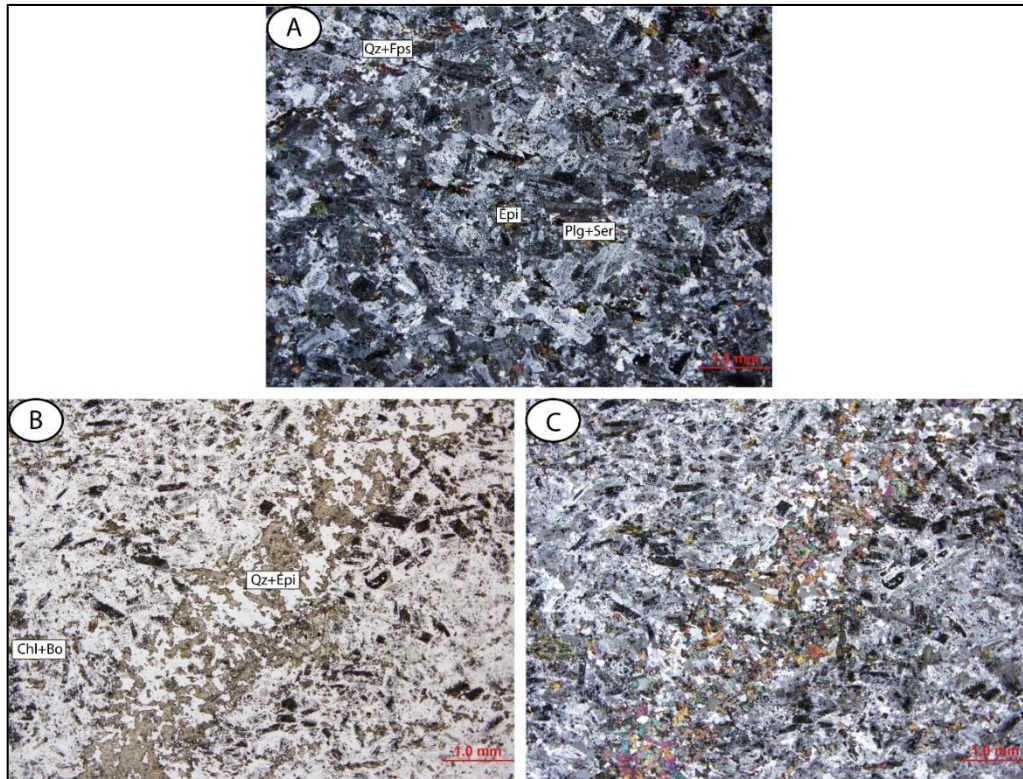


Figure 2.21 : Photographies de lames minces de l'aplite. A) Matrice quartzo-feldspathique (Qz+Fps) fine avec présence de cristaux de plagioclases (Plg) pseudomorphosés par la séricite (Ser) et l'épidote (Épi). B) et C) Présence d'une veine d'épidote (Épi) et de quartz (Qz), avec présence de Chlorite et de Biotite (Chl+Bo). Les photographies A à C présentent l'échantillon B4 (Figures 2.3 et 2.4).

Tableau 2.8 : Synthèse des observations pétrographiques pour la phase aplitique.

Lithologie	Ech	Opa	Épi	Chl+Bo	Ser	Qz	Fps
Aplite N=1	B4	-	10	5	<5	3-5	75

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations utilisées sont Fps=Feldspaths, Qz=Quartz, Bo=Biotite, Chl=Chlorite, Ser=Séricite, Épi=Épidote et Opa=Minéraux Opaques.

2.4-Synthèse

L'étude pétrographique des différentes unités volcaniques et intrusives est résumée par le tableau 2.9. Les unités intrusives sont ordonnées selon leur séquence de mise en place déduite des relations de recoupement observées sur le terrain. Les dykes de gabbro sont recoupés par toutes les autres phases, ce qui est en accord de l'étude de Scott (2005) qui les interprète comme étant synvolcanique. Les dykes de porphyre feldspathique présentent globalement des relations ambiguës avec les autres unités intrusives si bien que ces dykes seront discutés plus loin.

Les unités DFL2 et DFL3 recoupent le DFL1. Elles se présentent sous forme de dykes et contiennent des enclaves de DFL1. L'ensemble des unités de DFL sont recoupées par les dykes de DPA qui sont principalement orientés NE.

Enfin, entre la brèche et le DFL1, il est difficile de déterminer quelle unité recoupe laquelle, mais comme la brèche contient des fragments similaires à la DPA, cette brèche serait donc tardive au DFL.

Les dykes de PF présentent des relations chronologiques distinctes. Ainsi, les dykes PF1 et PF2 semblent recoupés par l'unité de DFL de l'affleurement B comme mentionné plus tôt. Aucune relation de recoupement ne permet de placer le PF3 dans l'histoire ; son orientation étant parallèles aux dykes de DFL et de DPA sur l'affleurement C. Le PF4 recoupe l'unité de DFL de l'affleurement E. Il n'est pas possible de situer les DPA par rapport au PF4 et à la brèche, car aucun recoupement n'est observé. Les aplites semblent être les dernières phases à se mettre en place. Les différentes relations de recoupement sont résumées à la figure 2.22.

Tableau 2.9 : Chronologie de mise en place proposée pour les lithologies intrusives

No	Nom	Composition minéralogie	Forme et distribution	Sommaire chronologique
1	Gabbro	Feldspaths plagioclases, quartz, chlorite, actinote, épidote, séricite minéraux opaques.	Dykes décimétriques. Orientations N-S, NE-SO et NO-SE	Recoupé par PF1, PF2, PF3 et DPA.
2	PF1	Feldspaths, quartz, épidote, minéraux opaques, séricite, actinote, carbonates, chlorite et biotite.	1 dyke métrique. Orientation E-O.	Recoupé par DFL1.
3	PF2	Feldspaths, quartz, épidote, minéraux opaques, séricite, actinote, carbonates, chlorite et biotite.	1 dyke métrique. Orientation E-O.	Recoupé par DFL1.
4	PF3	Feldspaths, quartz, épidote, minéraux opaques, séricite, actinote, carbonates, chlorite et biotite.	1 dyke métrique. Orientation NE-SO.	Recoupe le gabbro, mais pas de relation avec les autres phases.
5	DFL1	Feldspath, quartz, épidote, carbonates, séricite, minéraux opaques, hornblende verte, actinote, chlorite et biotite.	Forme et distribution difficile pour DFL1 sauf sur l’affleurement C, quelques dykes inférieurs au mètre. Orientation globalement NE-SO et plus localement E-O.	Recoupé par DFL2, DFL3, brèche, PF4, DPA et aplites.
6	DFL2	Feldspath plagioclase, quartz, épidote, carbonates, séricite, hornblende verte, minéraux opaques, chlorite et biotite.	1 dyke de 4 mètres. Orientation NE-SO.	Recoupé par DPA.

7	DFL3	Feldspath plagioclase, quartz, épidote, séricite, hornblende verte, minéraux opaques, chlorite et biotite.	Dykes submétriques. Orientation NE à localement E-W	Recoupé par DPA.
8	DPA	Feldspath plagioclase, quartz, épidote, séricite, hornblende verte, carbonates, minéraux opaques, chlorite et biotite.	Dykes décimétriques à métriques. Orientation NE-SO (affleurement B et C) et NNE (affleurements D et E).	Recoupe DFL1, DFL2, DFL3, gabbro.
9	Brèche	Feldspath plagioclase, quartz, séricite, hornblende verte, épidote, minéraux opaques, carbonates et chlorite.	Difficile de déterminer épaisseur. Orientation N-S.	Contient fragments de DPA Recoupé par PF4
10	PF4	Feldspaths, quartz, épidote, minéraux opaques, séricite, actinote, carbonates, chlorite et biotite.	1 dyke métrique. Orientation E-O.	Recoupe DFL1.
11	Aplite	Feldspaths, épidote, quartz, séricite, chlorite et biotite.	Dykes centimétriques à décimétriques. Orientation E-O.	Recoupe DFL1. Pas de relation avec DPA et brèche

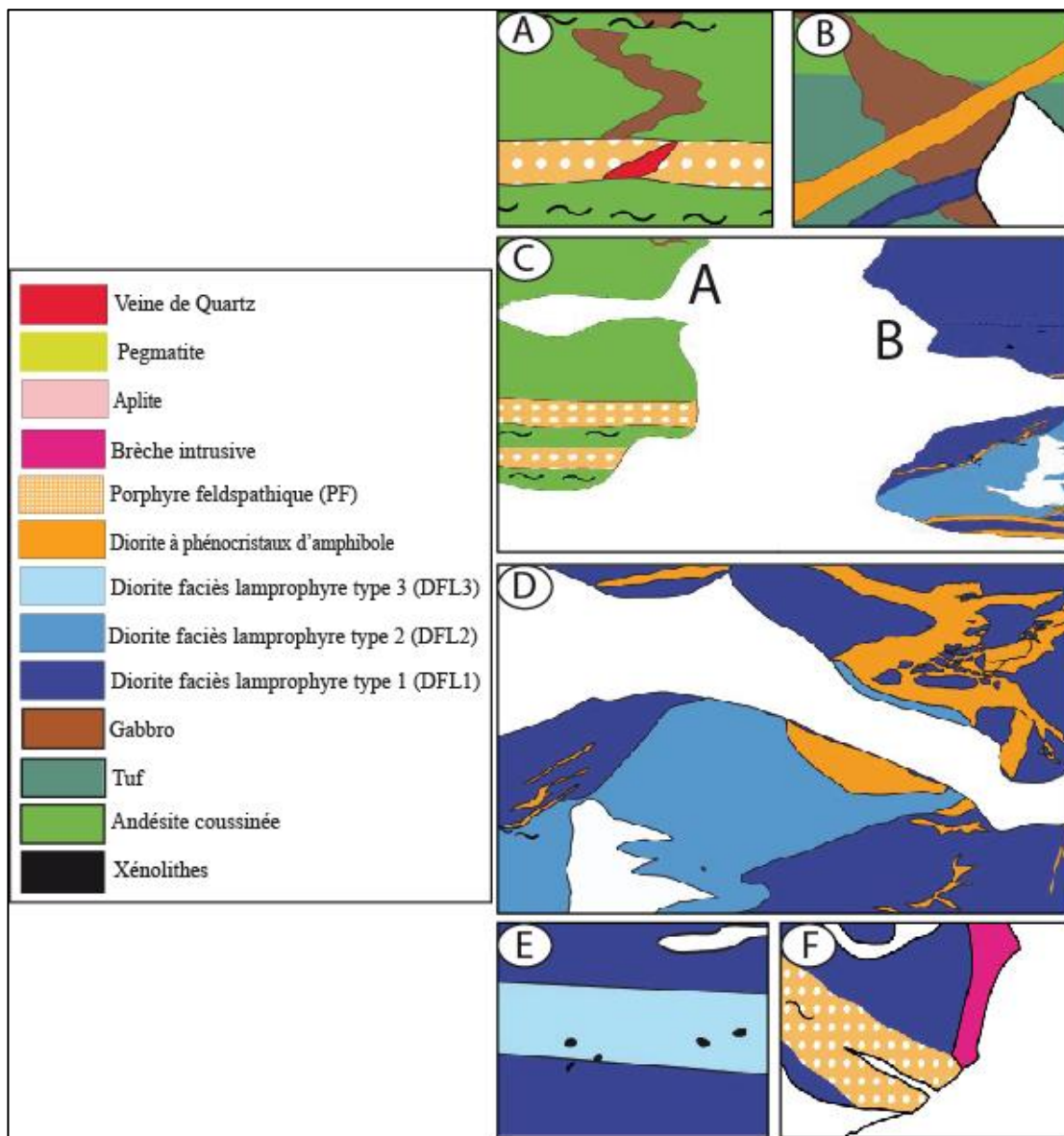


Figure 2.22 : Synthèse de la chronologie relative entre les unités intrusives. A) L'unité de gabbro recoupée par PF2. B) L'unité de gabbro recoupée par les unités DFL1 et DPA. C) Disparition des unités PF1 et PF2 sur l'affleurement B. Ces unités sont possiblement recoupées par DFL1. D) L'unité DFL1 recoupée par DFL2, elle-même recoupée par l'unité DPA. E) L'unité DFL1 recoupée par l'unité DFL3. F) La brèche recoupée par le DFL1 et le PF4 recoupant ces deux dernières.

CHAPITRE III

LITHOGÉOCHIMIE ET ALTÉRATION

3.1-Introduction

Ce chapitre traite des résultats des analyses lithogéochimiques effectuées sur les échantillons prélevés sur le terrain d'étude dans le but d'étudier leur degré de différenciation, et leur affinité, et d'ainsi préciser les noms pour chaque lithologie. Dans un second temps, leur degré d'altération est déterminé.

Les résultats obtenus sont représentés dans différents diagrammes tels que le « Total Alkali » (TAS) de Le Bas et al. (1986), le diagramme Zr vs TiO_2 , le diagramme Nb/Y vs Zr/TiO_2 de Winchester et Floyd (1977), le diagramme Zr/Y vs Th/Yb de Ross et Bédard (2009), le diagramme multi-éléments (éléments ordonnés d'après Pearce, 2008), ainsi que le spectre des terres rares.

Afin de déterminer le degré de différenciation des roches étudiées, le diagramme Zr vs TiO_2 est utilisé (Figures 3.1A et 3.2A). Ce diagramme considère des éléments immobiles ce qui permet de l'utiliser pour les roches altérées. Pour déterminer l'affinité, l'IUGS recommande l'utilisation du diagramme TAS (Le Bas et al., 1986) qui permet de déterminer si la roche est alcaline ou sub-alcaline (Figures 3.1B et 3.2B).

Afin de classifier les roches volcaniques altérées et métamorphisées, Winchester et Floyd (1977) ont proposé l'utilisation du diagramme Zr/TiO_2 vs Nb/Y (Figures 3.1C et 3.2C) qui permet de distinguer les principales séries magmatiques et types de roches.

Afin de permettre la détermination de l'affinité dans la famille des sub-alcalins, le diagramme de Ross et Bédard (2009) est utilisé (Figures 3.1D et 3.2D).

Les figures 3.1 et 3.2 présentent les résultats obtenus sur les différents diagrammes décrits précédemment et ces résultats sont présentés aux sections suivantes.

3.2-Résultats lithogéochimiques

3.2.1-Roches volcaniques et gabbro

Deux échantillons des lithologies volcaniques ont été analysés : un échantillon de lave coussinée et un tuf. Les dykes de gabbro (2 échantillons) sont traités ici également, car ces dykes sont considérés comme synvolcaniques, soient des dykes nourriciers alimentant potentiellement des unités volcaniques sus-jacentes (Scott et al., 2000; Scott, 2005).

Les deux échantillons de roches volcaniques ont des concentrations en SiO_2 plus élevées (60 et 69 % poids SiO_2 respectivement) que les gabbros (55 % poids SiO_2). Ceci peut traduire différents degrés de différenciation (Figure 3.1B). Toutefois sur le diagramme Zr/TiO_2 vs Nb/Y de Winchester et Floyd (1977), tous les échantillons tombent dans le champ des gabbros-diorites (Figure 3.1C).

Bien que la concentration en SiO_2 de la lave coussinée soit élevée (68 % poids SiO_2) indiquant une roche felsique, le ratio Zr/TiO_2 de 0,01 suggère une composition plus mafique (Figure 3.1A). Le ratio $\text{Nb}/\text{Y} = 0,2$ indique une affinité sub-alkaline (Figure 3.1C) et le diagramme de Ross et Bédard (2009) (Figure 3.1D) classe l'échantillon comme calco-alkalin. Le diagramme multi-élément (Figure 3.1E) et le spectre des terres rares (Figure 3.1F) montrent un spectre fractionné typique d'une roche calco-alkaline. Le ratio $\text{La}/\text{Yb} = 5,2$ confirme ces résultats.

Le tuf a, pour sa part, une composition andésitique appuyée par un ratio Zr/TiO_2 de 0,01. Sur le diagramme Zr vs TiO_2 (Figure 3.1A), il tombe dans le champ des roches intermédiaire. Son affinité est sub-alkaline (Figure 3.1C) avec un ratio $\text{Nb}/\text{Y} = 0,3$ et il est calco-alkalin selon le diagramme Zr/Y vs Th/Yb (Ross et Bédard, 2009; Figure 3.1D). Le diagramme multi-éléments (Figure 3.1E) et le spectre des terres rares (Figure 3.1F) montrent un spectre fractionné typique d'une roche calco-alkaline. Le ratio $\text{La}/\text{Yb} = 6,2$ confirme ces résultats. Le tuf est plus enrichi en terres rares que la lave coussinée.

Gabbro

Les dykes de gabbro sont mafiques (Figure 3.1A) et sub-alcalins (Figure 3.1C). Ils ont une affinité tholéiitique selon le diagramme de Ross et Bédard (2009) (Figure 3.1D). Ils ont un spectre plat sur le diagramme multi-éléments (Figure 3.1E) et sur celui des terres rares (Figure 3.1F), ce qui est typique d'une série tholéiitique.

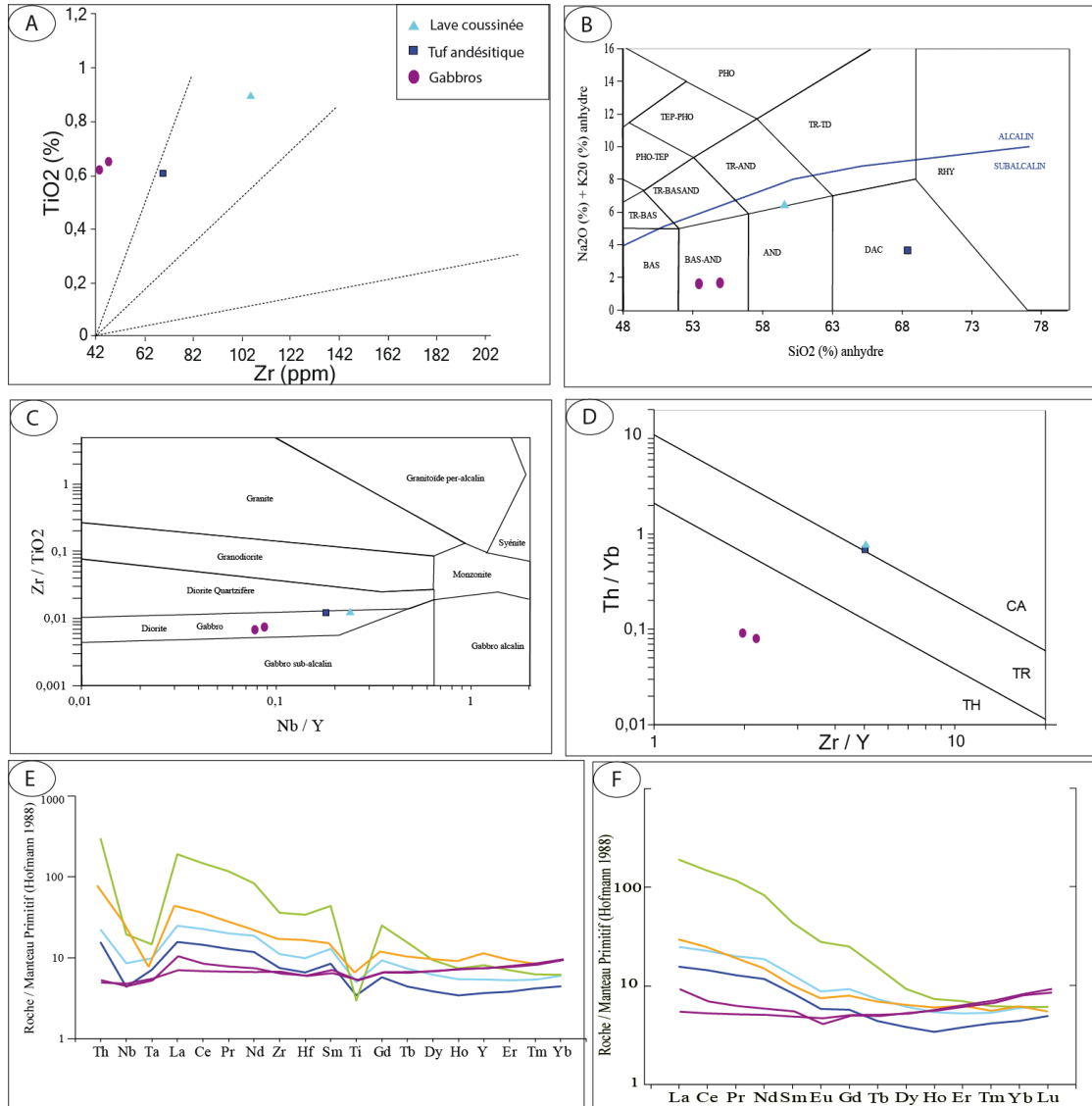


Figure 3.1 : Diagrammes binaires, diagrammes multi-éléments et spectre des terres rares pour les roches volcaniques et les gabbros. A) Diagramme Zr vs TiO₂. B) Diagramme Na₂O+K₂O vs SiO₂ (Le Bas et al., 1986). C) Diagramme Zr/TiO₂ vs Nb/Y (Winchester et Floyd, 1977). D) Diagramme Th/Yb vs Zr/Y (Ross et Bédard, 2009). E) Diagramme multi-éléments, normalisé au manteau primitif de Hofmann (1988) selon l'ordre de Pearce (2008). F) Spectre des terres rares, normalisé au manteau primitif de Hofmann (1988).

3.2.2-Roches intrusives

Diorite de faciès lamprophyre de type 1 (DFL1)

Les 8 échantillons de DFL1 ont des teneurs en SiO₂ comprises entre 48% poids SiO₂ et 57% poids SiO₂. Les roches sont mafiques à intermédiaires. Le ratio Zr/TiO₂ est compris entre 0,01 et 0,02. Sur le diagramme Zr vs TiO₂ (Figure 3.2A), 7 des 8 échantillons sont proches de la droite de référence pour une andésite archéenne tandis que le dernier échantillon est plus près de la droite de référence d'un basalte archéen. Une affinité subalcaline est déduite du diagramme Zr/TiO₂ vs Nb/Y de Winchester et Floyd (1977) (Figure 3.2C) et les échantillons tombent dans le champ calco-alcalin du diagramme Zr/Y vs Th/Yb de Ross et Bédard (2009) (Figure 3.2D). Les spectres des multiéléments et des REE des échantillons sont semblables. Les spectres sont fractionnés, ce qui est typique d'une roche calco-alcaline sur le diagramme multiélément, et les rapports La/Yb varient de 10 à 18 (Figures 3.2E et 3.2F).

Diorite de faciès lamprophyre de type 2 (DFL2)

Un seul représentant du type DFL2 a été analysé et cet échantillon semblait sur le terrain plus felsique que les DFL1, dû à sa couleur plus pâle. Toutefois, il présente une composition similaire au DFL1 avec une teneur en SiO₂ de 50,4 % poids SiO₂ (Figure 3.2B) et un ratio Zr/TiO₂ de 0,012 (Figure 3.2A). Avec un ratio Nb/Y de 0,2, il tombe dans le champ sub-alcalin du diagramme Zr/TiO₂ vs Nb/Y de Winchester et Floyd (1977) (Figure 3.2C) et dans le champ calco-alcalin du diagramme Zr/Y vs Th/Yb de Ross et Bédard (2009) (Figure 3.2D). Cet échantillon est également semblable aux dykes du type DFL1 sur les diagrammes multi-éléments et le spectre de terres rares (Figure 3.2E et 3.2F). Si ce n'était des relations de terrain, cette unité n'aurait pas été discriminée de la précédente sur la simple base géochimique, mais elle forme un dyke au contact relativement net recoupant l'unité DFL1.

Diorite de faciès lamprophyre de type 3 (DFL3)

Un seul échantillon d'un dyke de type DFL3 a été analysé, en raison de son apparence plus mafique sur le terrain (voir section pétrographie). Selon nos résultats, le DFL3, tout comme le DFL2, est chimiquement semblable aux dykes du type DFL1.

Porphyre feldspathique (PF)

Les porphyres feldspathiques (PF) présentent une problématique particulière. Les 4 échantillons prélevés sur le terrain montrent des compositions spécifiques, confirmant leur classification distincte faite à partir des données pétrographiques. Globalement, les roches de type PF montrent des teneurs variables en SiO_2 allant de 56 % poids SiO_2 pour PF1 à 68 % poids SiO_2 pour PF4 (Figure 3.2B) et ont des ratios Zr/TiO_2 distincts (Figure 3.2A). Toutefois, ils ont une affinité sub-alkaline sur le diagramme Zr/TiO_2 vs Nb/Y de Winchester et Floyd (1977) (Figure 3.2C). Sur le diagramme Zr/Y vs Th/Yb de Ross et Bédard (2009) (Figure 3.2D), les échantillons PF2 et PF4 sont calco-alkalins, l'échantillon PF3 est transitionnel et l'échantillon PF1 est tholéiitique.

Les échantillons PF1 et PF3 ont des spectres presque plats ($\text{La}/\text{Yb} = 2$; Figure 3.2E et 3.2F). Ils se distinguent toutefois par leur contenu en Ti. Ils ont une anomalie négative en Ti plus prononcée. Les échantillons PF2 et PF4 sont similaires et montrent des spectres fractionnés typiques des roches calco-alkalines, avec des ratio La/Yb proches de 28.

Diorite à phénocristaux d'amphibole (DPA)

Les dykes DPA ($n=6$) montrent une composition intermédiaire à felsique avec des teneurs en SiO_2 comprises entre 60 % et 68 % poids SiO_2 (figure 3.2B). Ils tombent dans le champ sub-alkalin sur le diagramme Zr/TiO_2 vs Nb/Y de Winchester et Floyd (1977) (Figure 3.2C) et dans le champ calco-alkalin sur le diagramme Zr/Y vs Th/Yb de Ross et Bédard (2009) (Figure 3.2D). Les spectres de terres rares sont fractionnés, avec un ratio La/Yb compris entre 13 et 38 (Figures 3.2E et 3.2F). Globalement, ils se distinguent des DFL par une abondance plus faible en terres rares.

Aplite

L'aplite est riche en SiO_2 et possède un ratio Zr/TiO_2 élevé (Figures 3.2A et 3.2B), ce qui indique que c'est une roche felsique. Elle tombe dans le champ sub-alkalin du diagramme de Zr/TiO_2 vs Nb/Y Winchester et Floyd (1977) (Figure 3.2C) et dans le champ calco-alkalin d'après le diagramme Zr/Y vs Th/Yb de Ross et Bédard (2009) (Figure 3.2D). Sur

le diagramme multi-éléments (figure 3.2E), l'anomalie Nb-Ta-Ti est observée avec une anomalie en Ti plus prononcée que pour les autres roches. Son spectre de terres rares se distingue de celui des autres unités par un enrichissement marqué en terres rares lourdes (Figures 3.2E et 3.2F).

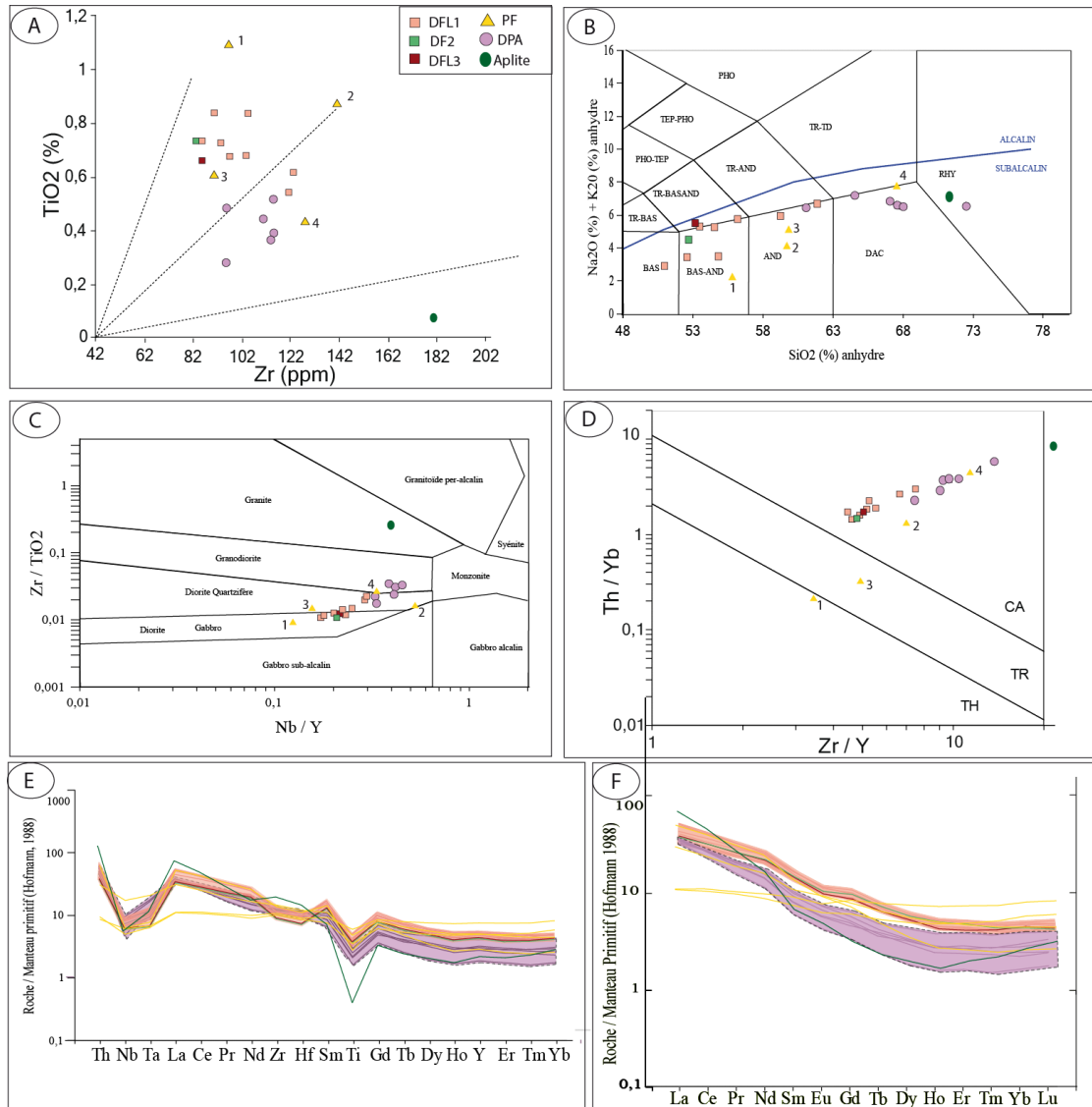


Figure 3.2 : Diagrammes binaires, diagrammes multi-éléments et spectre des terres rares pour les roches volcaniques et les gabbros. A) Diagramme Zr vs TiO_2 . B) Diagramme $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 (Le Bas et al., 1986). C) Diagramme Zr / TiO_2 vs Nb / Y (Winchester et Floyd, 1977). D) Diagramme Th / Yb vs Zr / Y (Ross et Bédard, 2009). E) Diagramme multi-éléments, normalisé au manteau primitif de Hofmann (1988) selon l'ordre de Pearce (2008). F) Spectre des terres rares, normalisé au manteau primitif de Hofmann (1988).

3.3-Bilans de masse

La méthode des bilans de masses pour précurseurs modélisés (Trépanier et al. 2016) a été utilisée afin de caractériser l'altération du secteur d'étude. Deux objectifs sont visés par cette méthode : 1) établir les caractéristiques de l'altération hydrothermale afin de distinguer une altération soit volcanogène ou associée à l'or orogénique; et 2) préciser la composition des précurseurs en corrigeant les analyses à partir des valeurs de pertes et de gains déterminées.

Des bilans de masse calculés en grammes sur 100 g de précurseurs ont été calculés dans le but de voir si une lithologie en particulier a subi les effets de l'altération.

Le tableau 3.1 présente l'ensemble des résultats des calculs de bilans de masse. Les figures 3.3 et 3.4 présentent les résultats pour les roches volcaniques et les gabbros, et pour les roches intrusives. Des valeurs supérieures à 1 g (gain) ou inférieures à -1 g (perte) sont considérées comme significatives, c'est-à-dire qu'il existe une altération (Trépanier et al., 2016).

Tableau 3.1 : Synthèse des résultats des bilans de masse

Échantillon	Nom de roche	B_CaO_BM	B_FeOT_BM	B_K2O_BM	B_MgO_BM	B_Na2O_BM	B_SiO2_BM
A1	FP	1,02	0,96	-1,50	0,22	-0,34	-0,12
A2	FP	0,05	-1,40	-0,65	0,06	-1,39	-4,44
A5	Gabbro	-2,77	-1,67	0,02	1,13	-1,81	-9,57
C1	FP	-0,82	0,34	-0,29	0,06	-0,08	-7,96
C7	DFL	0,77	-0,59	0,02	2,25	-0,39	2,14
C9	DFL	0,50	1,82	-0,69	1,28	-0,02	-1,16
C3	Andésite	-2,80	-1,50	0,15	0,63	-1,04	14,26
C11	Gabbro	-2,71	-0,99	-0,13	2,25	-1,63	-10,99
C2	DFL	0,54	0,91	-1,22	1,76	0,82	4,70
C10	DPA	-0,13	-0,22	-0,21	-0,03	0,52	-5,70
C12	DPA	-0,29	-0,29	-0,23	-0,02	0,43	-5,15
B1	DFL	0,87	1,80	1,58	1,37	0,20	4,85
B2	DFL	0,07	1,30	1,41	1,41	0,43	3,34
B8	DFL #3	0,34	0,88	1,43	-0,01	0,87	2,49
B3	DFL #2	1,35	1,49	1,16	1,70	0,25	6,09
B6	Tuf	-2,73	-1,27	0,74	0,48	1,10	3,49
B7	DPA	-0,08	0,84	0,55	1,02	1,08	0,74
B5	DPA	-0,65	-0,19	0,12	-0,08	0,63	0,30
D1	DFL	-0,05	0,94	0,70	0,57	1,11	4,14
D2	DPA	0,49	-0,46	0,61	0,11	0,34	-1,74
E2	DFL	-0,78	0,85	1,05	0,78	0,14	0,68
E3	DFL	-0,86	0,91	0,52	0,83	0,92	1,54
E1	FP	-1,22	-0,33	0,55	0,33	0,52	0,77
E5	DPA	-0,08	-0,81	-0,17	-0,39	-0,06	-2,17

3.3.1-Roches volcaniques

Les roches volcaniques, ainsi que les gabbros (Figure 3.3), montrent globalement des pertes et des gains peu importants à part pour le CaO, le MgO et le Na₂O allant jusqu'à 2 à -3 gr. La perte de CaO peut être due à la destruction des feldspaths plagioclases par un fluide hydrothermal. Concernant le SiO₂, le représentant d'andésite coussinée se distingue par un gain considérable, mais le tuf montre également un gain significatif de 3,5 g. Au contraire, les gabbros subissent des pertes significatives de SiO₂ (autour de 10 g).

3.3.2-Roches intrusives

Les roches intrusives (Figure 3.4) montrent globalement des pertes et des gains en éléments majeurs peu importants à part pour le FeO, K₂O et MgO allant jusque 2,5 g. Concernant le SiO₂, il est possible de constater que seuls 5 échantillons ne présentent pas un changement de masse significatif. Cependant, pour les 24 autres échantillons, il est possible de constater que les gains et les pertes varient de -8g à +6g.

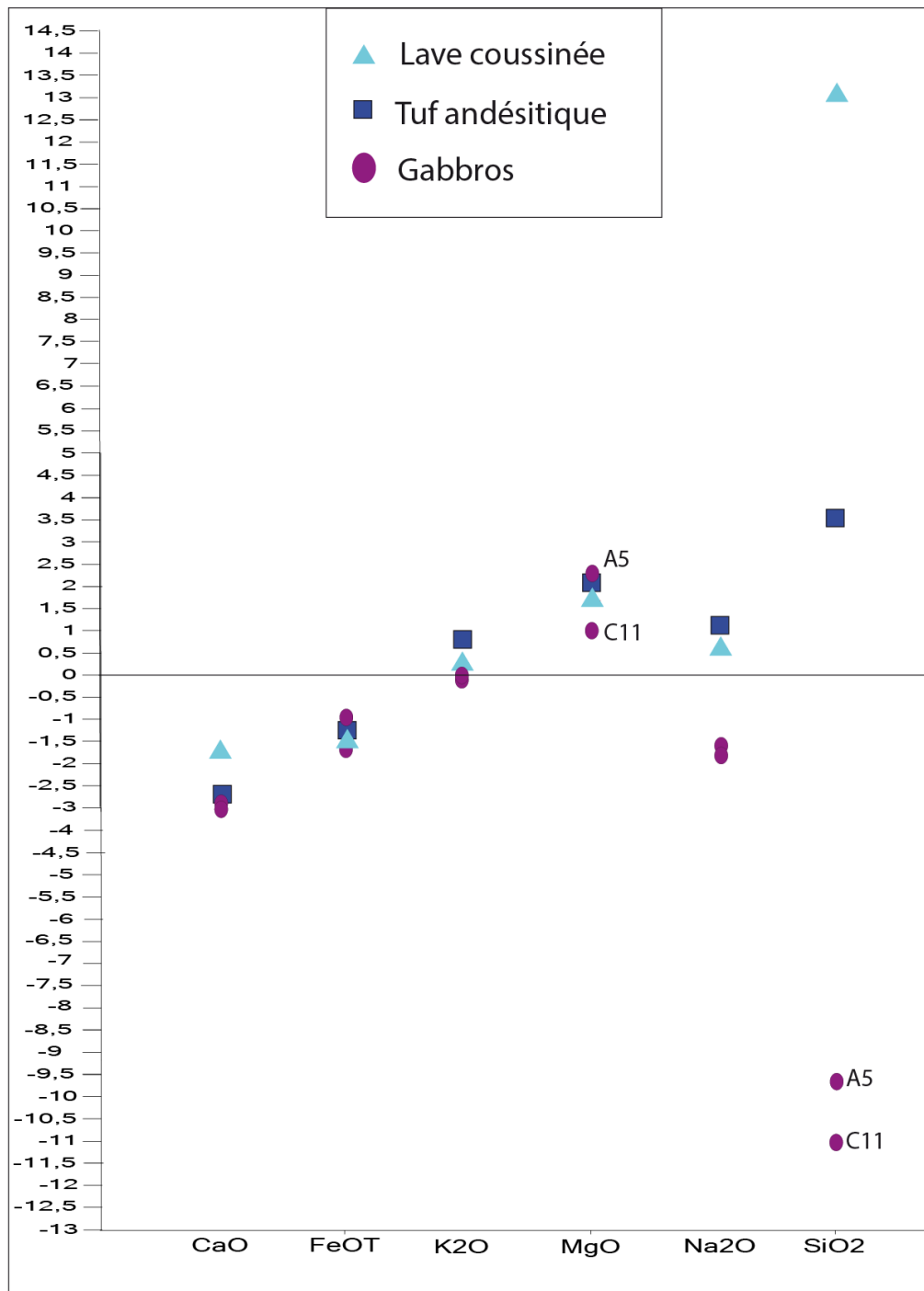
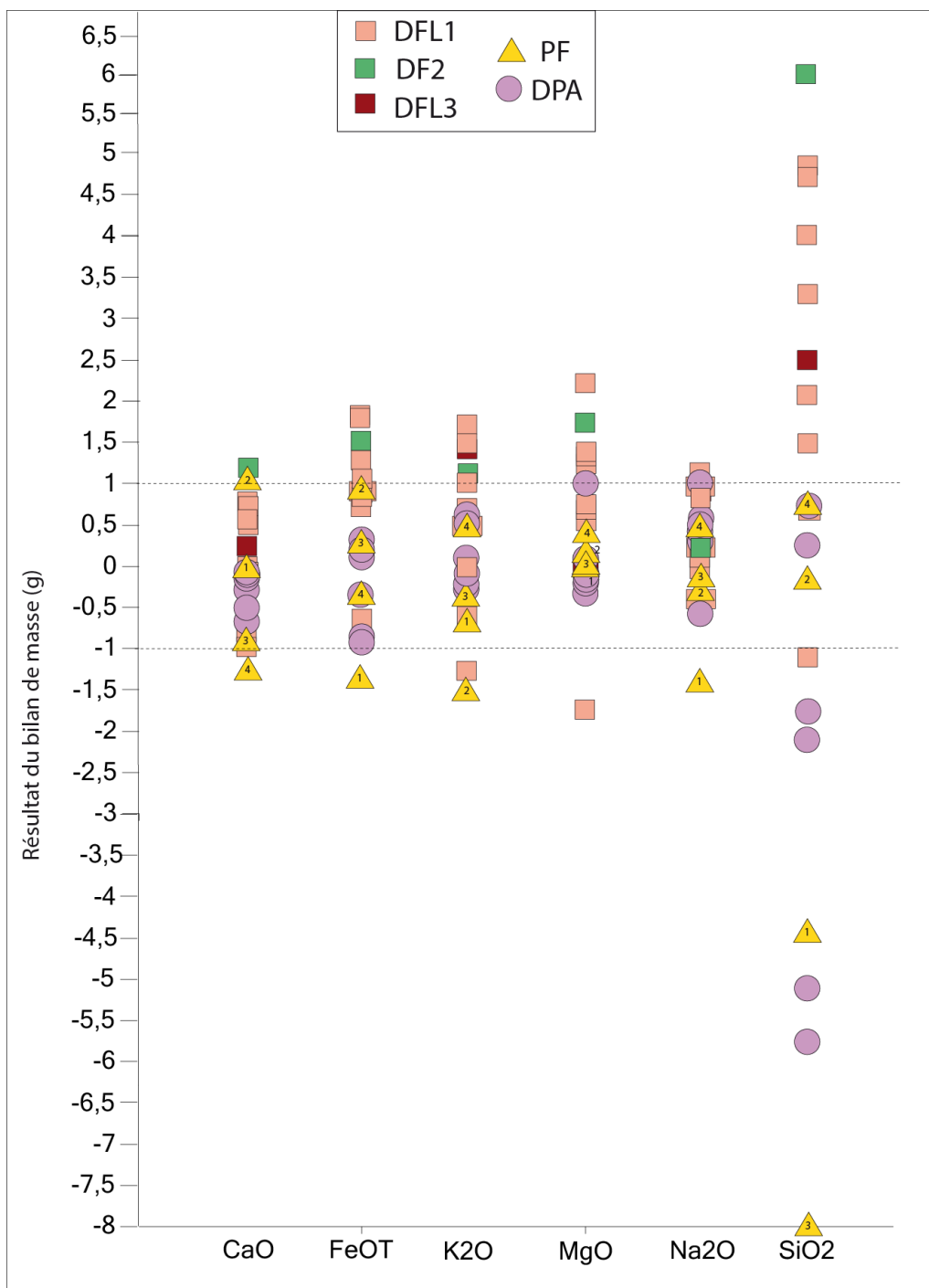


Figure 3.3 : Diagramme représentant les gains et pertes en éléments majeurs pour les roches volcaniques et les gabbros.



3.3.3-Précurseurs

Avec le calcul des précurseurs, les résultats sont placés sur le diagramme TAS (Figures 3.5 et 3.6). En comparant ce diagramme à celui représentant les échantillons analysés, l'observation la plus pertinente, telle qu'observée dans la section au-dessus, est que seul le SiO_2 est très affecté. La concentration en $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ est, quant à elle, très peu affectée. Les précurseurs des roches volcaniques sont dans le champ des basaltes andésitiques à basaltes. Les précurseurs des gabbros sont dans le champ des basaltes andésitiques. Concernant les roches intrusives, leurs précurseurs s'étendent du champ des basaltes à celui des rhyolithes. L'affinité sub-alkaline est confirmée et le nom déterminé pour les échantillons est donc proche de ce qu'il devrait être (Tableau 3.2).

SiO₂ vs K₂O+Na₂O (Le Bas et al. 1986)

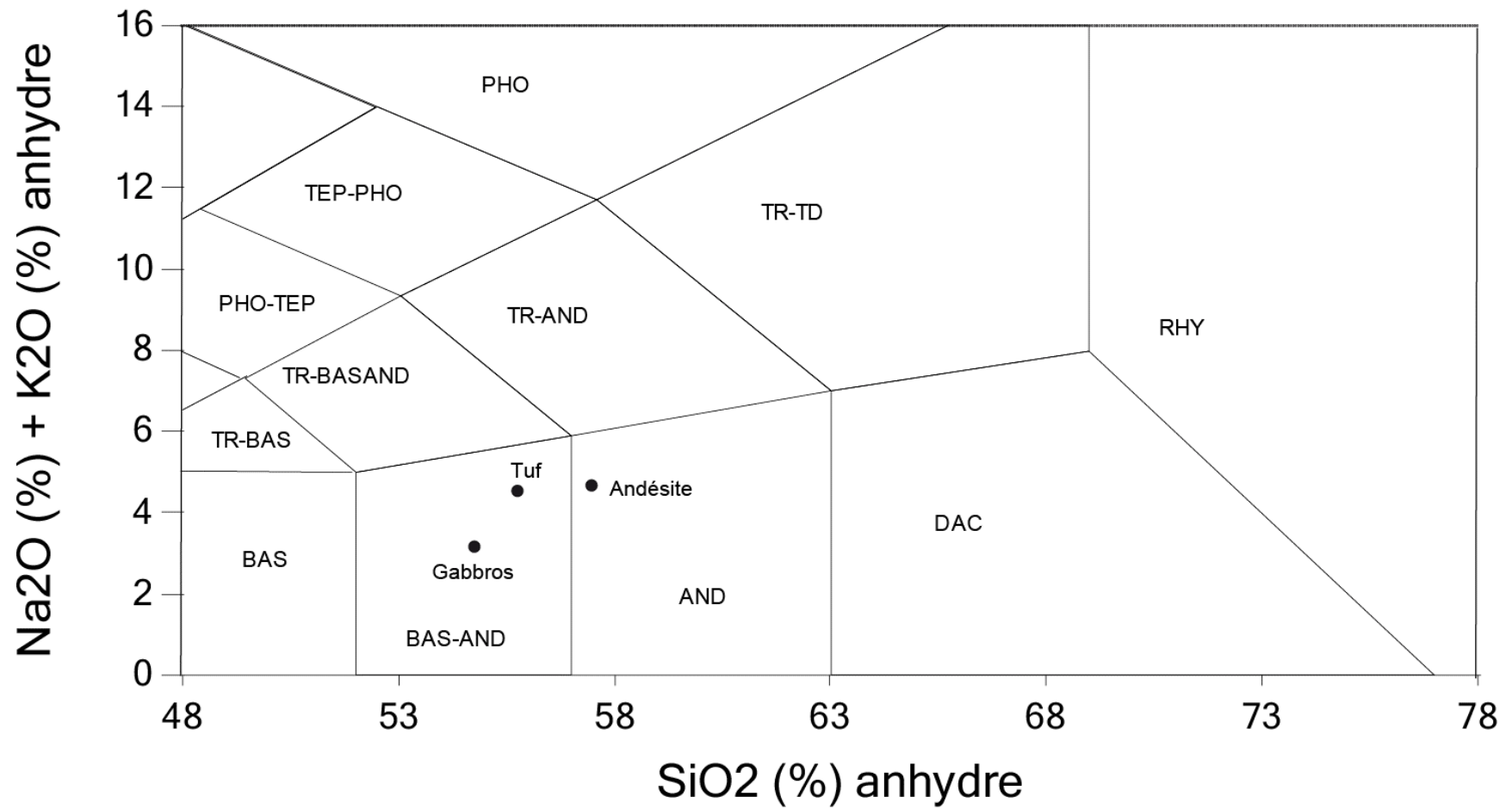


Figure 3.5 : Diagramme TAS représentant les précurseurs des roches volcaniques et des gabbros.

SiO₂ vs K₂O+Na₂O (Le Bas et al. 1986)

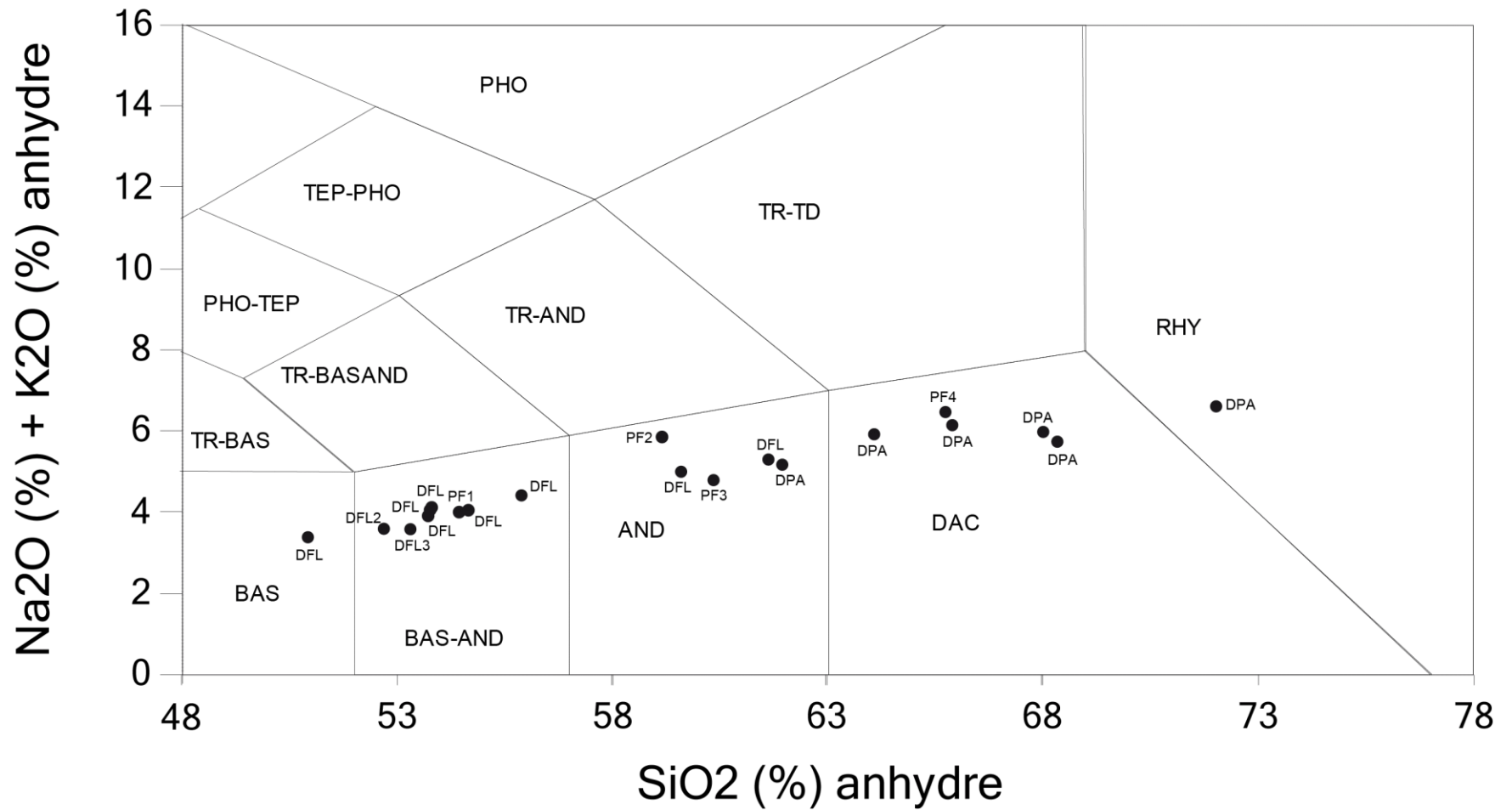


Figure 3.6 : Diagramme TAS représentant les précurseurs des roches intrusives.

Tableau 3.2 : Synthèse et comparaison de la nomenclature des lithologies de cette étude.

Échantillons	Nom défini dans la maitrise	TAS précurseurs	TAS échantillons
A1	Diorite (FP)	Diorite à diorite Qz	Diorite Qz
A2	Diorite (FP)	Diorite à diorite Qz	Diorite
A5	Gabbro	Diorite à diorite Qz	Gabbro
C1	Diorite (FP)	Diorite à diorite Qz	Diorite Qz
C7	Diorite (DFL)	Gabbro-diorite	Diorite
C9	Diorite (DFL)	Diorite à diorite Qz	Diorite
C3	Andésite	Andésite	Basalte andésitique
C11	Gabbro	Diorite à diorite Qz	Gabbro
C2	Diorite (DFL)	Diorite à diorite Qz	Diorite
C10	Diorite (DPA)	Granodiorite	Granodiorite
C12	Diorite (DPA)	Granodiorite	Granodiorite
B1	Diorite (DFL)	Diorite à diorite Qz	Diorite Qz
B2	Diorite (DFL)	Diorite à diorite Qz	Diorite-Diorite Qz
B8	Diorite (DFL)	Diorite à diorite Qz	Diorite-Diorite Qz
B3	Diorite (DFL)	Gabbro-diorite	Diorite
B6	Tuf andésitique	Andésite basaltique	Basalte andésitique
B7	Diorite (DPA)	Diorite Qz	Diorite Qz
B5	Diorite (DPA)	Granodiorite	Diorite Qz-Granodiorite
D1	Diorite (DFL)	Diorite à diorite Qz	Diorite Qz
D2	Diorite (DPA)	Granodiorite	Diorite Qz
E2	Diorite (DFL)	Diorite Qz	Diorite Qz
E3	Diorite (DFL)	Diorite Qz	Diorite Qz
E1	Diorite (FP)	Granodiorite	Diorite-Diorite Qz
E5	Diorite (DPA)	Granodiorite	Granodiorite

3.4-Calcul des minéraux normatifs

Dans le but d'appuyer les descriptions microscopiques, le modèle 2 SV450 (2 kbar et 450 °C) de la CONSONORM_LG a été utilisé (Trépanier et al. 2015). Les abondances de minéraux normatifs sont présentées au tableau 3.3. Les données retrouvées dans ce tableau concordent relativement avec les observations en lames minces. Les différences peuvent être dues à des erreurs de détermination des pourcentages, la taille des minéraux ou des modifications de la roche.

Tableau 3.3 : Synthèse de la minéralogie normative déterminée par la norme CONSONORM_LG (Trépanier et al., 2015) pour les unités volcaniques, volcanoclastiques et intrusives.

Échantillon	Nom de roche	Fps	K-Fps	Bo	Chl	Épi	Qz	Ser	Amp	Cb	Rhod	Apa	Cr	Sulfures	Oxydes	Ti
A1	FP	30,01	0	7,5	29,62	24,8	20,68	0	1,03	0	0	0,78	0	0,51	1,58	2,06
A2	FP	15,97	0	3,92	45,48	30,83	21,24	0	1,98	0	0	0,31	0,01	0,54	1,92	2,49
A5	Gabbro	8,41	0	2,31	62,71	27,25	23,67	7,5	0	0	0,26	0,17	0,01	0,49	2,01	1,52
C1	FP	33,93	0	7,58	29,22	21,72	17,97	7,69	0	0,3	0,17	0,33	0	0,25	1,41	1,51
C7	DFL	13,2	0	22,3	33,44	16,29	4,03	0	33,65	0	0	0,97	0,11	0,07	1,8	2
C9	DFL	20,49	0	15,04	33,32	18,65	5,33	0	26,12	0	0	0,91	0,07	0,05	2,18	2,02
C3	Andésite	18,55	0	3,84	32,19	15,27	35,98	16,7	0	0,06	0,2	0,31	0,01	0,74	1,09	1,44
C11	Gabbro	9,69	0	5,9	70,07	25,18	20,89	1,51	0	0,89	0,29	0,14	0,01	0,05	2,2	1,46
C2	DFL	26,15	0	3,78	29,42	17,48	6,44	0	28,36	0	0	0,76	0,06	0,57	1,83	1,76
C10	DPA	38,5	0	26,67	3,96	14,79	25,19	6,8	0	0,36	0,1	0,31	0,02	0,04	0,87	0,88
C12	DPA	39,52	0	25,01	3,92	14,67	24,67	8,41	0	0,12	0,12	0,33	0,01	0,05	0,84	0,93
B1	DFL	20,24	0	51,52	3,04	17,28	6,96	0	23,66	0	0	0,9	0,08	0,06	1,91	1,64
B2	DFL	21,8	0	48,64	6,98	16,71	4,6	0	24,37	0	0	0,88	0,08	0,06	1,93	1,76
B8	DFL #3	23,83	0	48,48	4,28	15,28	3,19	0	25,82	0,42	0,31	0,87	0,1	0,06	1,85	1,6
B3	DFL #2	18,86	0	38,95	12,03	16,01	5	0	28,21	0,67	0,27	0,99	0,08	0,19	1,99	1,76
B6	Tuf	36,27	0	35,92	16,84	16,98	14,56	0	1,6	0	0	0,52	0,02	0,07	1,44	2,16
B7	DPA	35,91	0	42,18	1,53	15,83	15,51	0	6,45	0,54	0,17	0,68	0,03	0,06	1,29	1,25
B5	DPA	40,59	0	29,31	0,89	13	23,84	8,82	0	0,37	0,1	0,35	0,01	0,07	0,85	1,07
B4	Aplite	51,04	0,62	5,24	0	11,68	25,34	1,76	0	3,12	0,07	0,17	0,01	0,03	0,92	0
D1	DFL	28,56	0	42,09	4,46	15,28	8,71	0	17,11	1,39	0,24	0,9	0,06	0,05	1,7	1,64
D2	DPA	36,36	0	29,23	3,21	10,41	21	8,32	0	4,21	0,13	0,6	0,01	0,04	0,92	1,15
E2	DFL	25,6	0	53,98	5,29	18,3	18,24	0	3,29	0,5	0,21	0,8	0,05	0,05	1,48	1,47
E3	DFL	32,19	0	39,3	12,49	6,11	20,9	5,53	0	5,08	0,18	0,69	0,04	0,06	1,35	1,27
E1	FP	38,92	0	25,68	4,03	3,35	23,92	18,9	0	3,33	0,09	0,55	0,01	0,73	0,85	1,16
E5	DPA	37,26	0	16,61	1,18	7,67	32,78	16,19	0	1,76	0,07	0,24	0,01	0,01	0,55	0,67

Les valeurs sont données en pourcentage. Les abréviations utilisées sont Fps=Feldspaths, K-Fps=Feldspaths potassiques, Qz=Quartz, Epi=Épidote, Amp=Amphiboles, Bo=Biotite, Chl=Chlorite, Ser=Séricite, Cb=Carbonates, Rhod=Rhodochrosite, Apa=Apatite, Cr=Chromite, Ti=Phases titanifères.

Cette méthode permet également d'estimer l'altération grâce au calcul d'indices d'altération. Les principales altérations telles que la chloritisation, la biotitisation, la carbonatation et la séricitisation ont été insérées sous forme de diagrammes binaires (Figures 3.7 et 3.8). Les altérations sont faibles, à part dans le cas des gabbros où la chloritisation est modérée. Les unités de DFL présentent également une biotitisation modérée et plus rarement (cas d'un échantillon) une carbonatation.

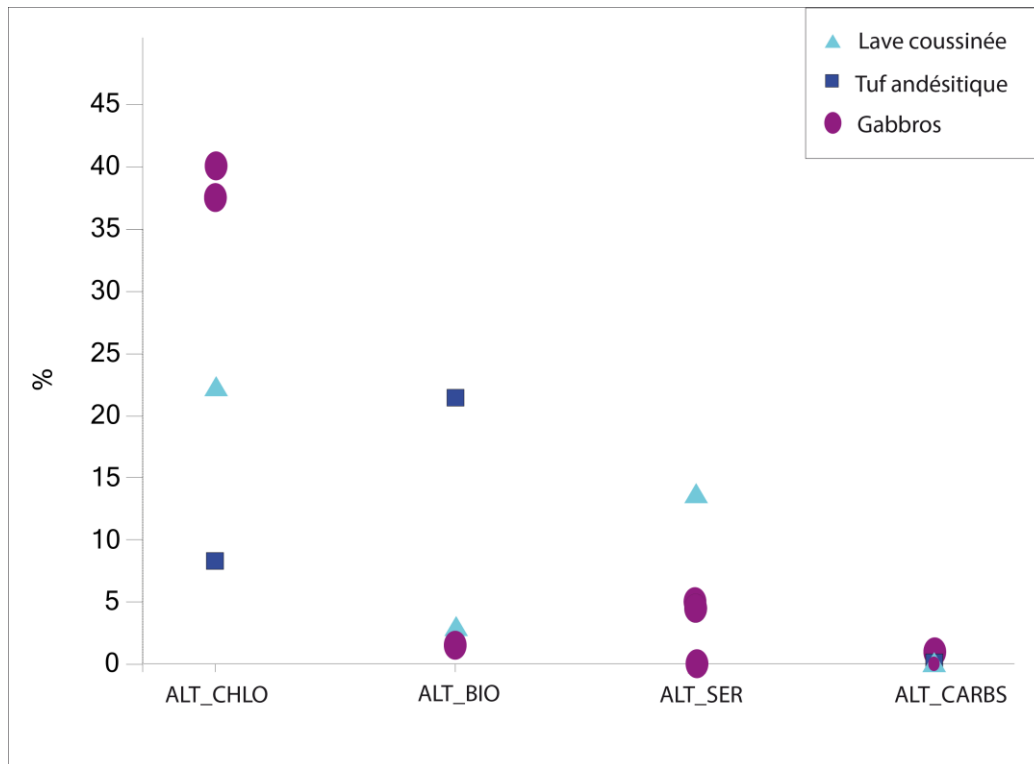


Figure 3.7 : Indices de la chloritisation, biotitisation, séricitisation et carbonatation de la CONSONORM_LG pour les volcaniques et les gabbros.

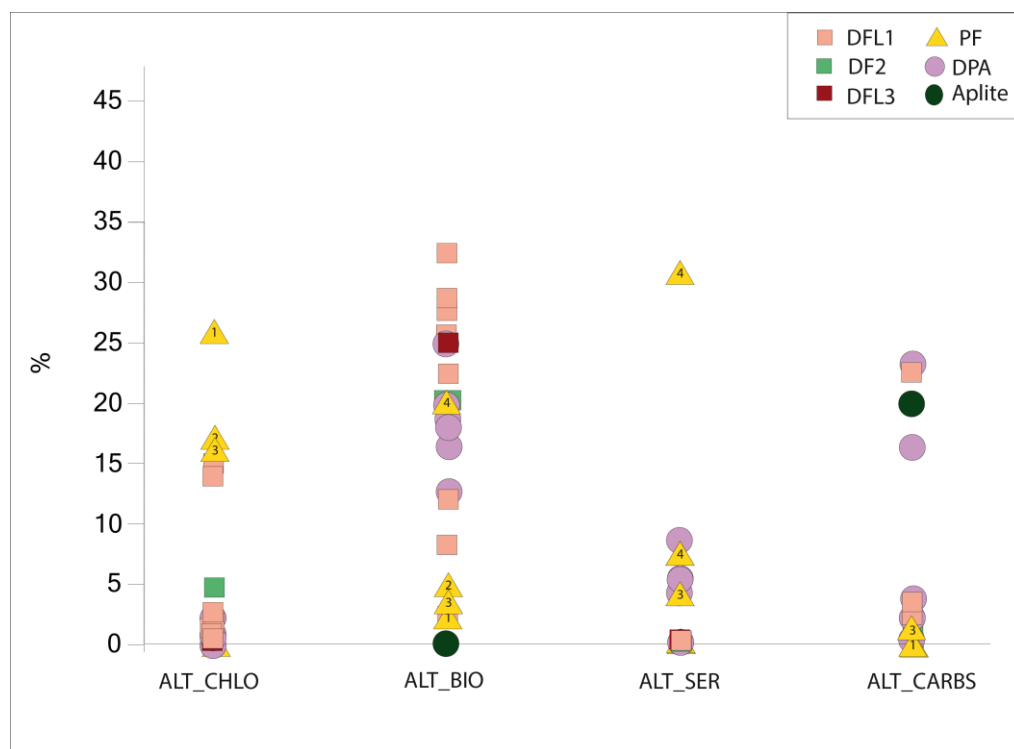


Figure 3.8 : Indices de la chloritisation, biotitisation, séricitisation et carbonatation de la CONSONORM_LG pour les unités intrusives.

3.5-Synthèse

Les dykes sont mafiques à intermédiaires, sauf pour l'aplite qui est felsique. Toutes les roches sont calco-alcalines sauf PF1 qui est d'affinité tholéiitique et PF3 qui est transitionnelle. Les roches volcaniques sont également mafiques à intermédiaires, seuls les gabbros présentent une affinité tholéiitique. Il est possible de supposer que ces dykes nourriciers soient reliés à une autre formation sus-jacente.

Pour les bilans de masses, il y a peu de variations importantes. Le seul élément chimique présentant un changement de masse important est le SiO_2 . En effet, les roches volcaniques ainsi que les familles de DFL présentent une silicification pouvant être interprétée comme la présence d'une altération volcanogène. Au contraire, les autres roches intrusives présentent une perte en SiO_2 . Cette désilicification pourrait être la manifestation de l'altération de type orogénique (Goldfarb et al., 2001).

La méthode des bilans de masses pourrait ne pas être adaptée pour les familles de DFL. En effet, si ces intrusions sont finalement des lamprophyres, il est possible que la méthode ne puisse s'appliquer, car ce ne sont pas des magmas conventionnels.

Les précurseurs observés permettent de dire que les noms sont très proches de ce qui a été déterminé pour les échantillons récoltés. Cette observation indique donc que l'altération est peu intense sauf en ce qui concerne les variations de SiO_2 , tel qu'il a été observé dans la section sur les bilans de masses.

En conclusion, le secteur n'est donc pas altéré de façon significative. Considérant l'absence de carbonate de fer dans le secteur étudié, l'altération reconnue semble davantage compatible avec une altération volcanogène qu'avec une altération orogénique.

CHAPITRE IV

GÉOLOGIE STRUCTURALE

4.1-Introduction

Les roches du secteur d'étude montrent une déformation ductile hétérogène qui s'exprime par une schistosité principale (Sp) qui est moyennement à fortement développée. La section suivante présente la caractérisation structurale du secteur à l'étude.

4.2-Plan de stratification S0

4.2.1-Laves coussinées

Les roches volcaniques intermédiaires des affleurements A et C présentent des coussins très allongés avec des ratios longueur / largeur d'environ 8. En dépit de cet allongement marqué, il est possible de voir des pédoncules qui confirment la polarité vers le sud (Scott, 2005). Ces pédoncules sont localisés dans le centre inférieur des coussins, suggérant que le plan de stratification volcanique soit parallèle à l'allongement des coussins.

4.2.2- Volcanoclastite

Le tuf est stratifié, prend l'aspect de turbidites, se compose de multiples couches et présente les textures typiques de la séquence de Bouma. On y reconnaît des contacts graduels et des contacts érosionnels. Ces contacts confirment la polarité vers le sud (Scott, 2005) et permettent la mesure des plans S0 d'attitude E-W en plusieurs endroits.

4.3-Fabrique structurale

4.3.1-Schistosité principale Sp

La schistosité principale Sp est la fabrique planaire dominante sur les affleurements étudiés. Sur le terrain, elle prend la forme d'un plan d'aplatissement apparent, d'un débit

de la roche ainsi que de l'alignement préférentiel des fragments et des coussins. L'attitude moyenne de la schistosité est de $265^{\circ}/70^{\circ}$ sur les affleurements A, B et C. Sur les affleurements D et E plus au nord, la schistosité moyenne est de $095^{\circ}/70^{\circ}$ (Figure 4.1). La schistosité principale est moyennement à fortement pénétrative et son intensité est variable sur les différents affleurements et localement, au sein du même affleurement. En lame mince, la schistosité prend la forme d'un alignement préférentiel des phyllosilicates et des différents objets de la roche (cristaux, fragments, etc.).

Les différentes données recueillies sur le terrain sont représentées sous la forme de stéréogramme (canevas de Schmidt). Le stéréogramme a été réalisé avec le logiciel OpenStereo. Les plans de schistosité sont représentés sous la forme de pôles (points noirs sur la figure 4.2). Les contours de densité permettent de voir une distribution avec un point maximum qui permet de définir le plan moyen de la schistosité, qui est de $265^{\circ}/70^{\circ}$.

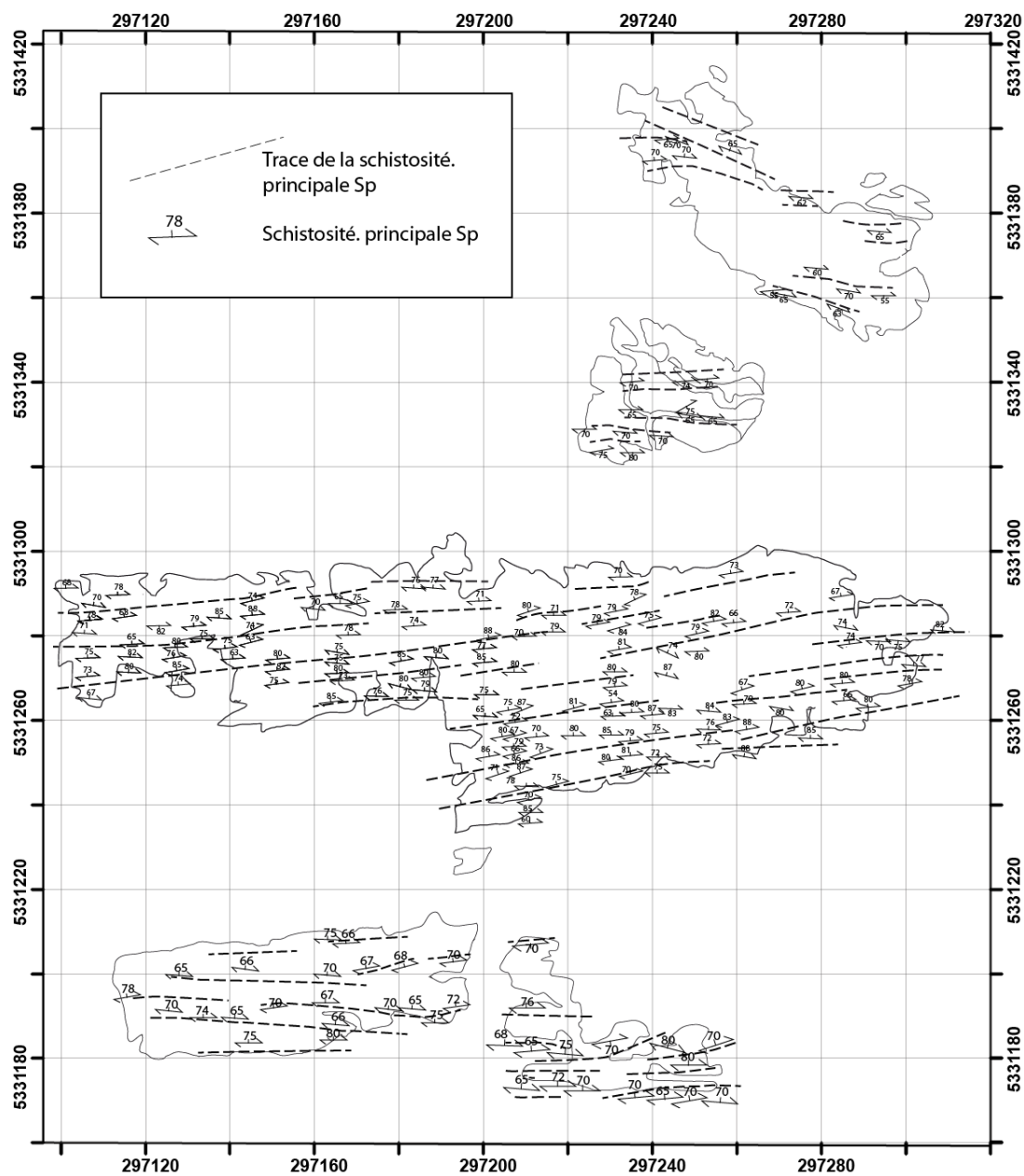


Figure 4.1 : Représentation de la schistosité principale Sp.

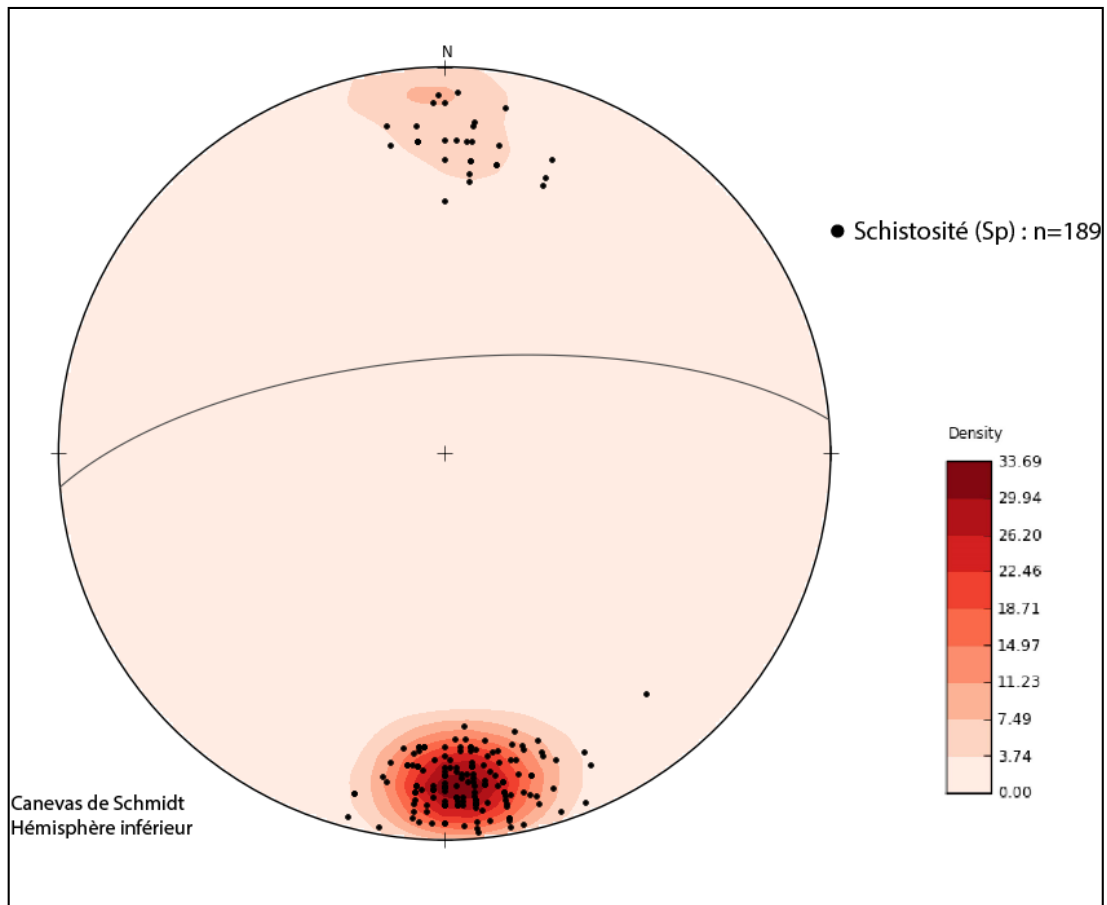


Figure 4.2 : Mesures de la schistosité principale Sp.

4.3.2-Linéation d'étirement

La linéation d'étirement (« Lé ») est une fabrique linéaire qui est contenue dans le plan de la schistosité principale Sp. Dans plusieurs cas sur le terrain, il a été difficile d'observer et donc de mesurer l'attitude de la Lé. Pour cette raison, des lames minces orientées ont été construites à partir d'une série de coupes sur les échantillons également orientés sur le terrain. Ces lames ont ensuite été comparées entre elles et avec les autres afin d'évaluer l'intensité du développement de la fabrique. Ceci a permis de déterminer les sections XY et YZ de l'ellipsoïde de la déformation.

Les linéations d'étirement mesurées sur le terrain sont représentées à la figure 4.3. Il est possible d'observer deux familles de linéations d'étirement. Une famille assez abrupte à

l'est et une seconde famille, plus significative, modérément à faiblement plongeante vers l'ouest.

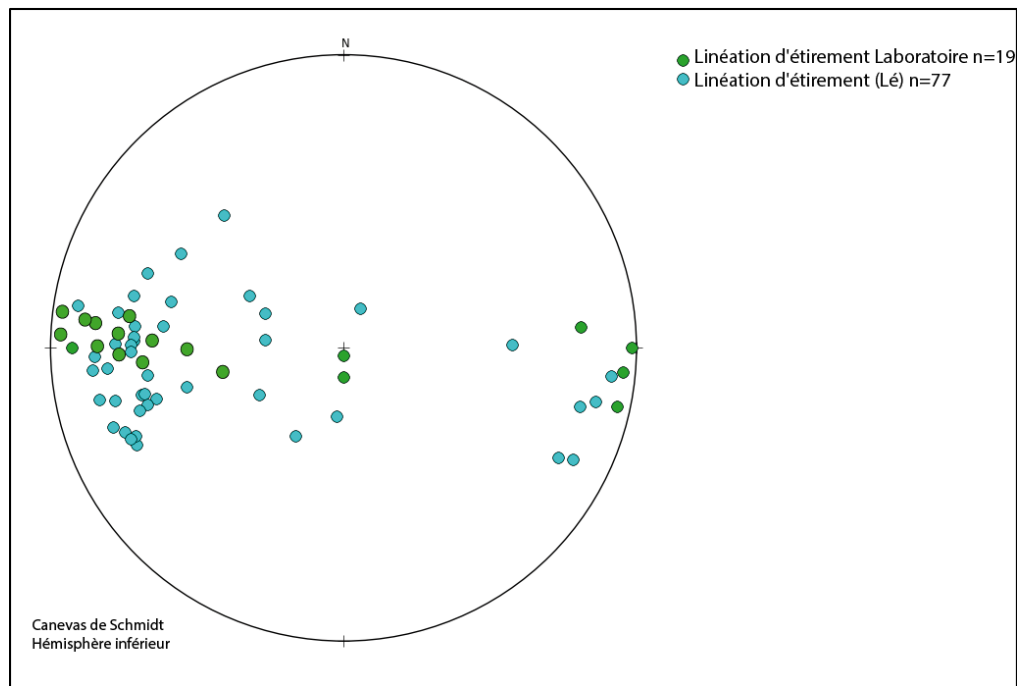


Figure 4.3 : Mesures de linéations d'étirement.

Les observations en laboratoire ont révélé la présence de linéations systématiquement plus horizontales que ce qui a été mesuré sur le terrain. Les mesures sur les échantillons indiquent une dominance de Lé à plongée faible vers l'ouest et vers l'est.

Les différences entre les mesures de linéations de terrain et en laboratoire pourraient s'expliquer par la confusion possible avec des linéations de crénulation ou d'intersection. Les Lé subhorizontales sont probablement en partie responsables des coussins très allongés décrits précédemment.

4.3.3-Clivage de crénulation

Des clivages de crénulation ont été reconnus sur le terrain au niveau de l'affleurement E. Ces fabriques secondaires recoupent à 30° en relation horaire la fabrique Sp et elles sont surtout développées dans les zones où la fabrique Sp est la mieux développée. Ces clivages

s'apparentent aux clivages en extension (ECC pour «*extensional crenulation cleavage*») désignés également bandes de cisaillement («*shear bands*»).

4.4-Analyse de la déformation

4.4.1-Indice d'anisotropie planaire

L'indice d'anisotropie planaire (IAP) (Daigneault, 1996) est utilisé dans le but de qualifier le développement de l'anisotropie planaire associée à Sp. Cet indice permet la visualisation de la déformation et va donc être utilisé pour définir les limites des couloirs de déformation présents sur la zone d'étude.

4.4.2-Description des microstructures

Comparaison des lames horizontales (XZ) et verticales (YZ)

Cette section permet de caractériser l'axe de déformation le plus important. Pour cela, les lames horizontales (lame A) et verticales (lame B) pour un ensemble d'échantillons ont été comparées. À titre d'exemple, 4 représentants types sont décrits ci-après. Il s'agit d'un tuf, d'une andésite coussinée, d'un dyke de DFL et d'un dyke PF4. Les autres échantillons sont présentés en annexe 5.

Pour le tuf, il est possible de voir que la lame A (horizontale) présente une anisotropie plus marquée que la lame B (verticale) (Figure 4.4). La différence est particulièrement visible dans la forme des fragments plus allongés dans la lame A. Aussi en lame B, la texture primaire du tuf est encore perceptible alors qu'elle n'est plus visible en lame A. De plus, les cristaux de pyrite montrent des ombres de pression en lame A et aucune en lame B. L'ensemble des éléments confirme une linéation d'étirement en composante direction. Pour l'échantillon d'andésite coussinée, il est possible de faire les mêmes constats que pour le tuf (Figure 4.5). La lame A (horizontale) présente une anisotropie marquée avec une orientation préférentielle de tous les cristaux de la roche alors qu'une faible fabrique est perceptible dans la lame B (verticale). Pour l'échantillon de DFL, la lame horizontale présente une anisotropie plus marquée également en lame horizontale alors que la lame

verticale ne montre qu'un très faible alignement préférentiel (Figure 4.6). L'échantillon le plus révélateur de cette composante horizontale est celui de PF4 (Figure 4.7) qui présente une texture mylonitique. En effet, il est facile d'observer une très forte orientation préférentielle de tous les minéraux, des ombres de pressions et même un début de rotation des cristaux sur la lame A. La lame B, bien que moins développée, présente tout de même une bonne orientation préférentielle. Ces exemples sont représentatifs des observations faites sur l'ensemble des échantillons en lames minces.

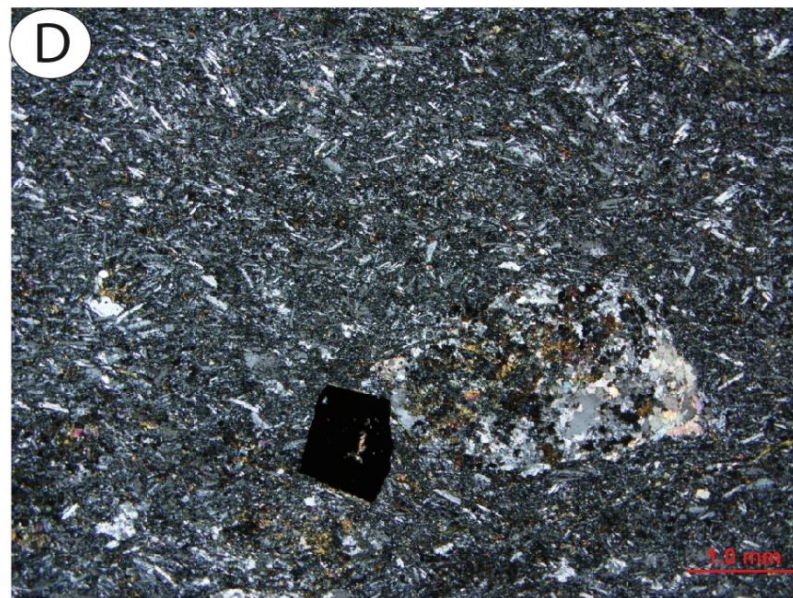
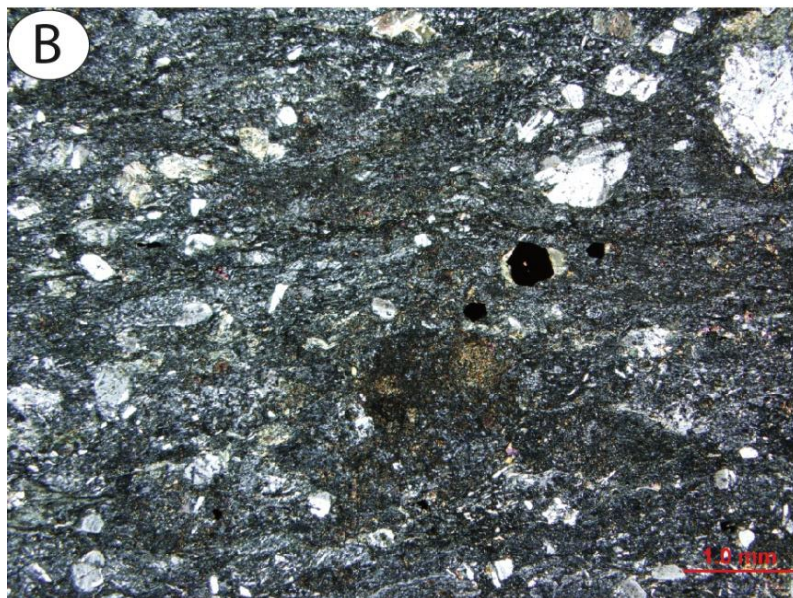
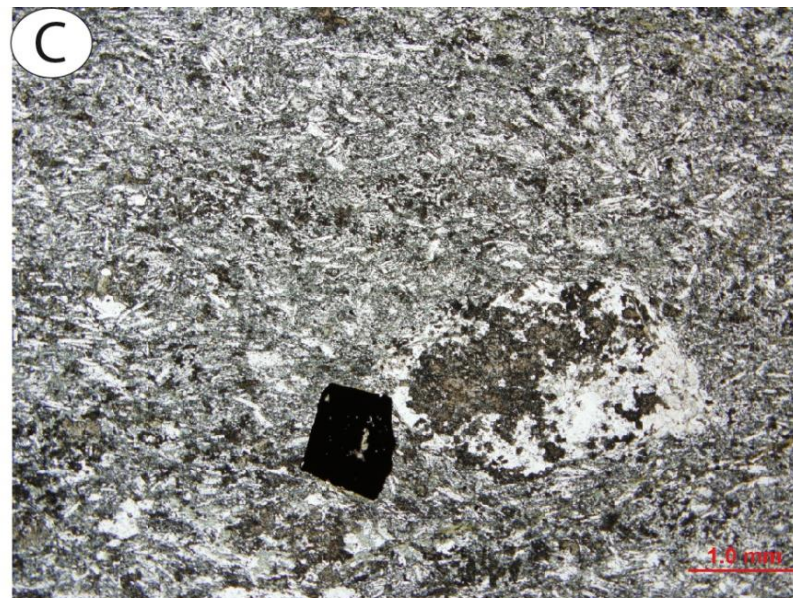


Figure 4.4 : Comparaison des lames horizontale (XZ) A) LN et B) LP et verticale (YZ) C) LN et D) LP pour l'échantillon C1-17 (Tuf andésitique) (Figure 2.3).

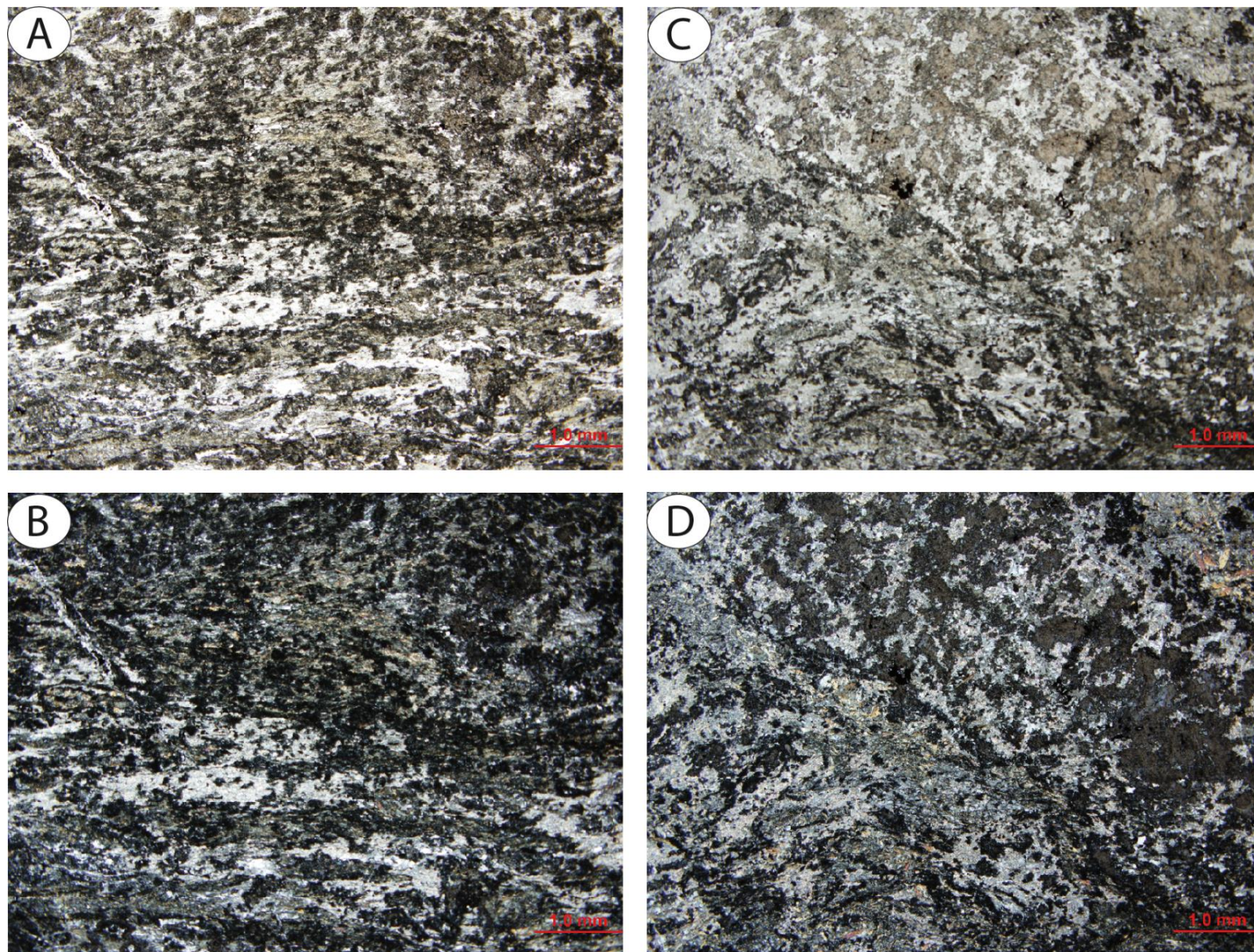


Figure 4.5 : Comparaison des lames horizontale (XZ) A) LN et B) LP et verticale (YZ) C) LN et D) LP pour l'échantillon C2-17 (Andésite coussinée) (Figure 2.3).

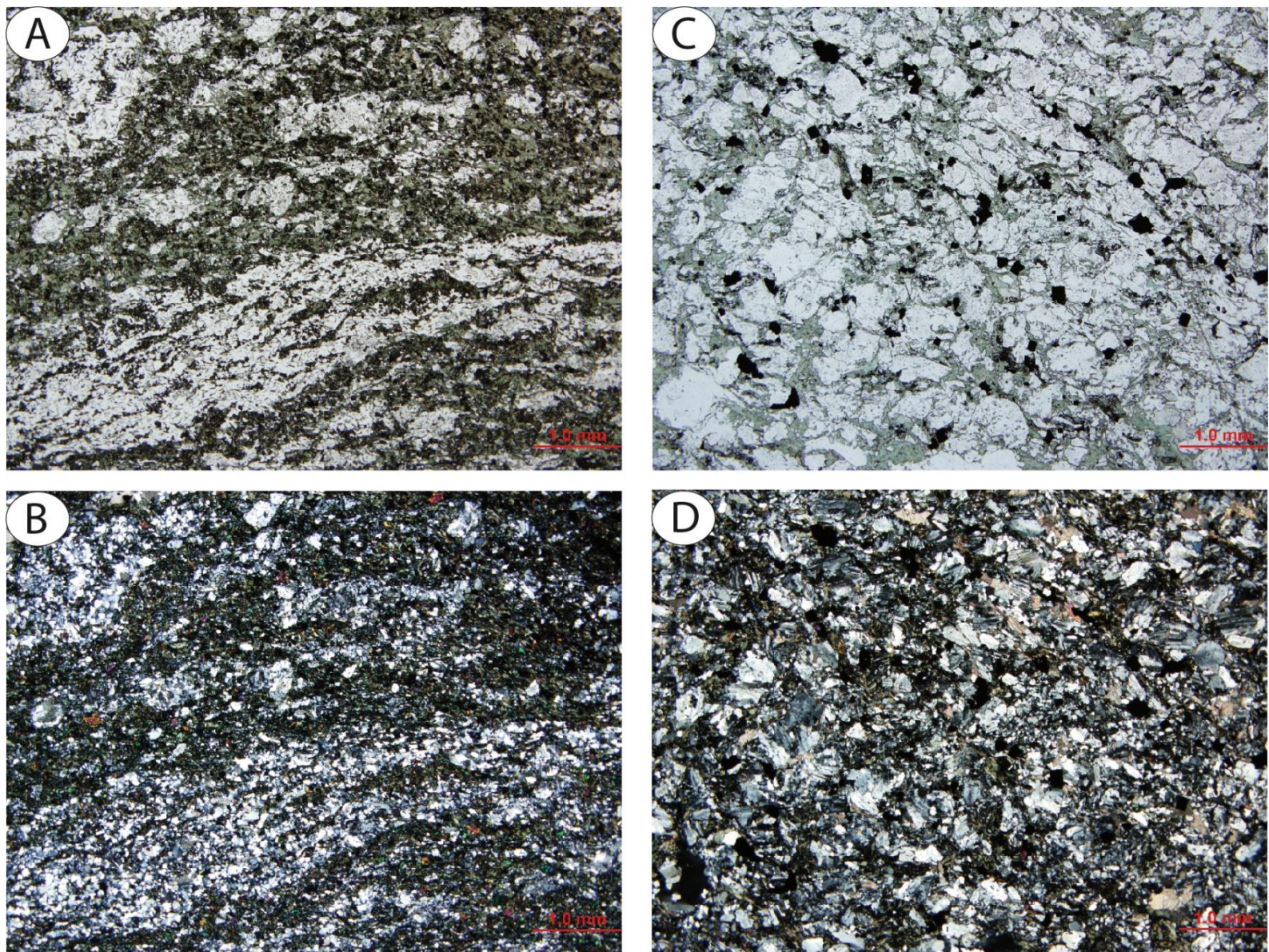


Figure 4.6 : Comparaison des lames horizontale (XZ) A) LN et B) LP et verticale (YZ) C) LN et D) LP pour l'échantillon D1-17 (DFL cisailé) (Figure 2.3).

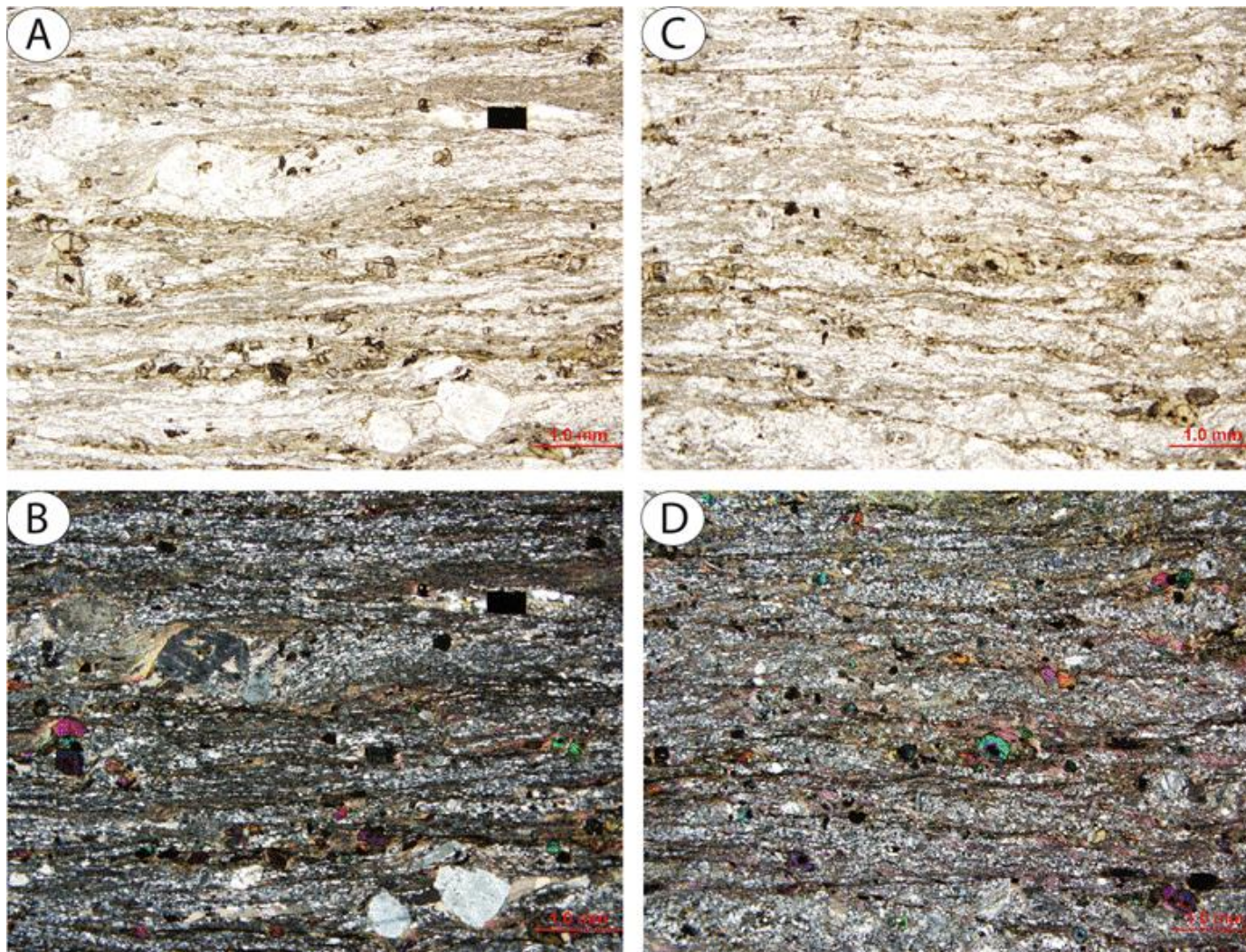


Figure 4.7 : Comparaison des lames horizontale (XZ) A) LN et B) LP et verticale (YZ) C) LN et D) LP pour l'échantillon E2-17 (Dyke PF4) (Figure 2.3).

Évolution de la déformation

Cette section permet de caractériser l’empreinte de la déformation ductile en lames minces. Pour cela, les échantillons les moins déformés sont comparés avec les plus déformés pour chaque lithologie. L’échelle IAP décrite au tableau 4.1 a été utilisée et les lames comparées sont systématiquement les coupes XZ. Les lithologies étudiées sont les roches volcaniques, les diorites de faciès lamprophyrique (DFL), les porphyres feldspathiques (PF) et les diorites à phénocristaux d’amphibole (DPA)

Dans l’andésite coussinée, l’échantillon avec un IAP = 1 (Figure 4.8A et 4.8B) présente une très faible anisotropie, montrant plusieurs grains avec une orientation aléatoire des minéraux. L’échantillon intermédiaire avec un IAP = 3 (Figure 4.8C et 4.8D) présente un alignement des cristaux de chlorite permettant de définir une bonne orientation préférentielle. L’échantillon le plus anisotrope avec un IAP = 4 (Figure 4.8E et 4.8F) montre un très fort alignement de la chlorite et une roche dominée par une matrice de granulométrie très faible.

Pour le tuf andésitique, principalement dans la matrice, l’échantillon le moins anisotrope (IAP = 1 ; Figure 4.9A et 4.9B) présente une faible orientation préférentielle des minéraux. L’échantillon intermédiaire (IAP = 3 ; Figure 4.9C et 4.9D) présente un bon alignement des cristaux de chlorite et de séricite permettant d’observer une direction préférentielle. Quelques reliques de cristaux de plagioclase et de fragments sont encore perceptibles, L’échantillon le plus déformé (IAP = 5 ; Figure 4.9E et 4.9F) montre un très fort alignement de la chlorite qui décrit une foliation mylonitique principalement dans une roche de granulométrie très fine par comparaison aux autres représentants.

Globalement, les diorites de faciès lamprophyrique (DFL) sont en apparence moins anisotropes que les autres unités. L’échantillon le moins anisotrope (IAP = 1 ; Figure 4.10A et 4.10B) présente une très faible orientation préférentielle des minéraux particulièrement marquée par la biotite. L’échantillon intermédiaire (IAP = 2 ; Figure 4.10C et 4.10D) montre un alignement préférentiel des cristaux de chlorite-biotite et une granulométrie plus fine que le précédent. L’échantillon le plus anisotrope (IAP = 3 ; Figure

4.10E et 4.10F) montre alignement marqué de la chlorite-biotite avec une granulométrie encore plus fine. Toutefois, aucun échantillon avec une fabrique mylonitique comme pour le tuf et l'andésite n'a été reconnu.

Pour les dykes de FP, il est possible d'observer une vaste palette d'anisotropie. Ceci est plus compliqué par le fait que cette famille regroupe plusieurs lithologies ayant possiblement une histoire différente. Mais de façon générale, l'échantillon le moins anisotrope (IAP=1; Figure 4.11A et 4.11B) ne présente que peu d'orientation préférentielle des grains, mais observable avec la chlorite. L'échantillon intermédiaire (IAP = 3 ; Figure 4.11C et 4.11D) présente une bonne orientation préférentielle submylonitique, appuyée par la chlorite et la biotite. Il est possible d'observer des ombres de pression autour des porphyroclastes (anciens phénocristaux) de plagioclase. L'échantillon le plus anisotrope (IAP=5 ; Figure 4.11E et 4.11F) présente une forte orientation préférentielle marquée par la chlorite et la biotite, plus appuyée que pour l'échantillon intermédiaire. Les ombres de pression sont plus développées particulièrement aux voisinages des grains de sulfures (pyrite) et les porphyroclastes montrent des évidences de rotation. La quantité et la granulométrie de la matrice, combinée avec l'ensemble des observations, confirme la nature mylonitique de la fabrique.

Les dykes de diorite à phénocristaux d'amphiboles (DPA), tout comme les DFL, présentent globalement un degré d'anisotropie beaucoup moins développé. L'échantillon le moins anisotrope (IAP=1 ; Figures 4.12A et 4.12B) présente une orientation aléatoire des minéraux. L'échantillon le plus anisotrope (IAP=2 ; Figures 4.12C et 4.12D) présente une orientation faible à moyenne des grains de feldspath et de chlorite-biotite. Mais globalement, aucun représentant de cette lithologie ne montre de fabriques submylonitiques à mylonitiques.

En général, il est observé que la lame horizontale est la plus déformée (donc coupe XZ), et cela dans tous les types de roches. Cependant, certaines lames montrent que la coupe XZ se trouve dans le plan vertical. La Figure 4.13 montre un exemple d'une anisotropie

légèrement plus accentuée dans la lame verticale par comparaison à la lame horizontale. Cette lame provient d'une roche volcanique de l'affleurement A et pourrait représenter un vestige de Lé abrupte.

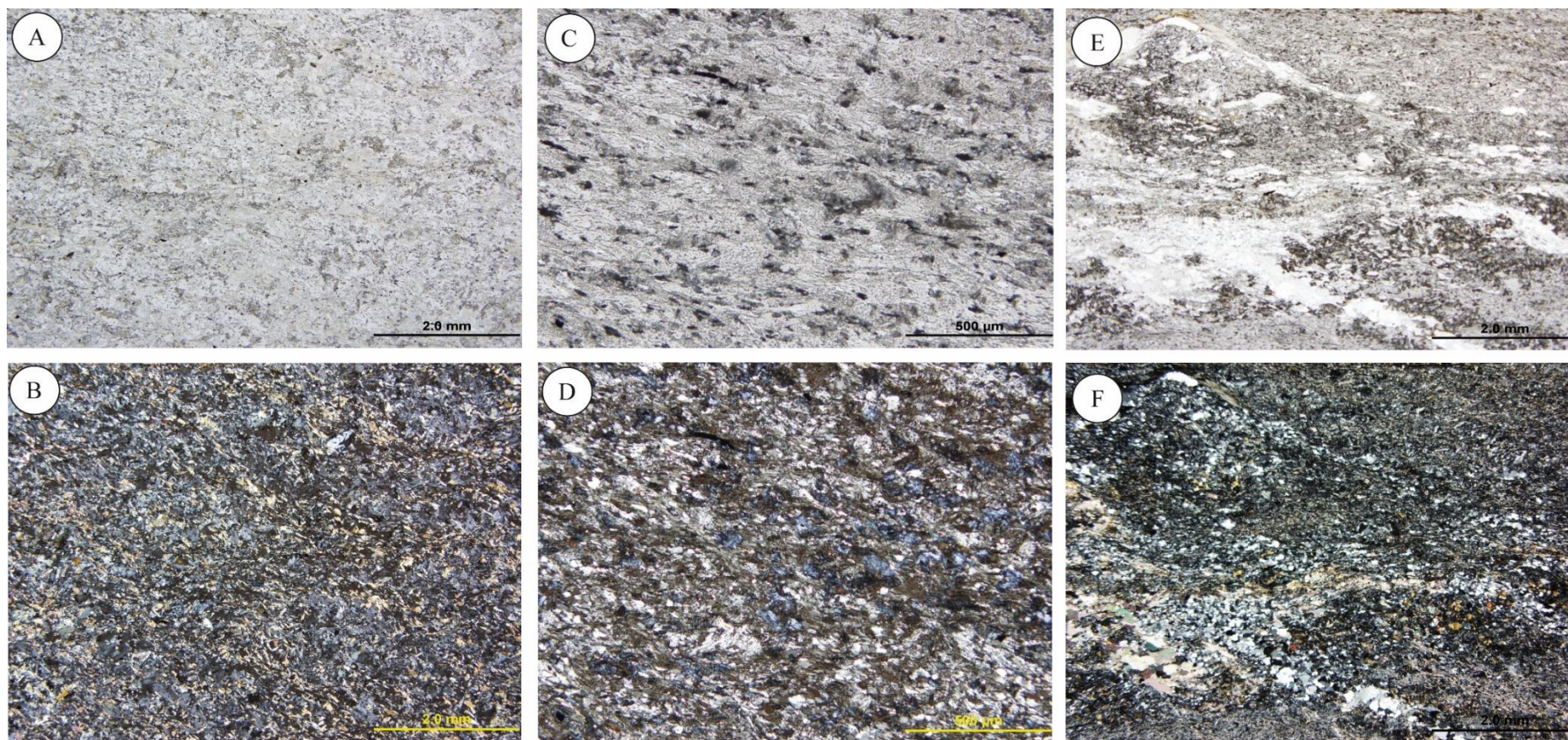


Figure 4.8 : Photographies de trois échantillons d'andésite coussinée montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 3/5, lumière naturelle. D) IAP 3/5, lumière polarisée. E) IAP 4/5, lumière naturelle. F) IAP 4/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon C4, la photographie C et D présentent l'échantillon C3 et la photographie E et F présentent l'échantillon A4 (Figure 2.3).

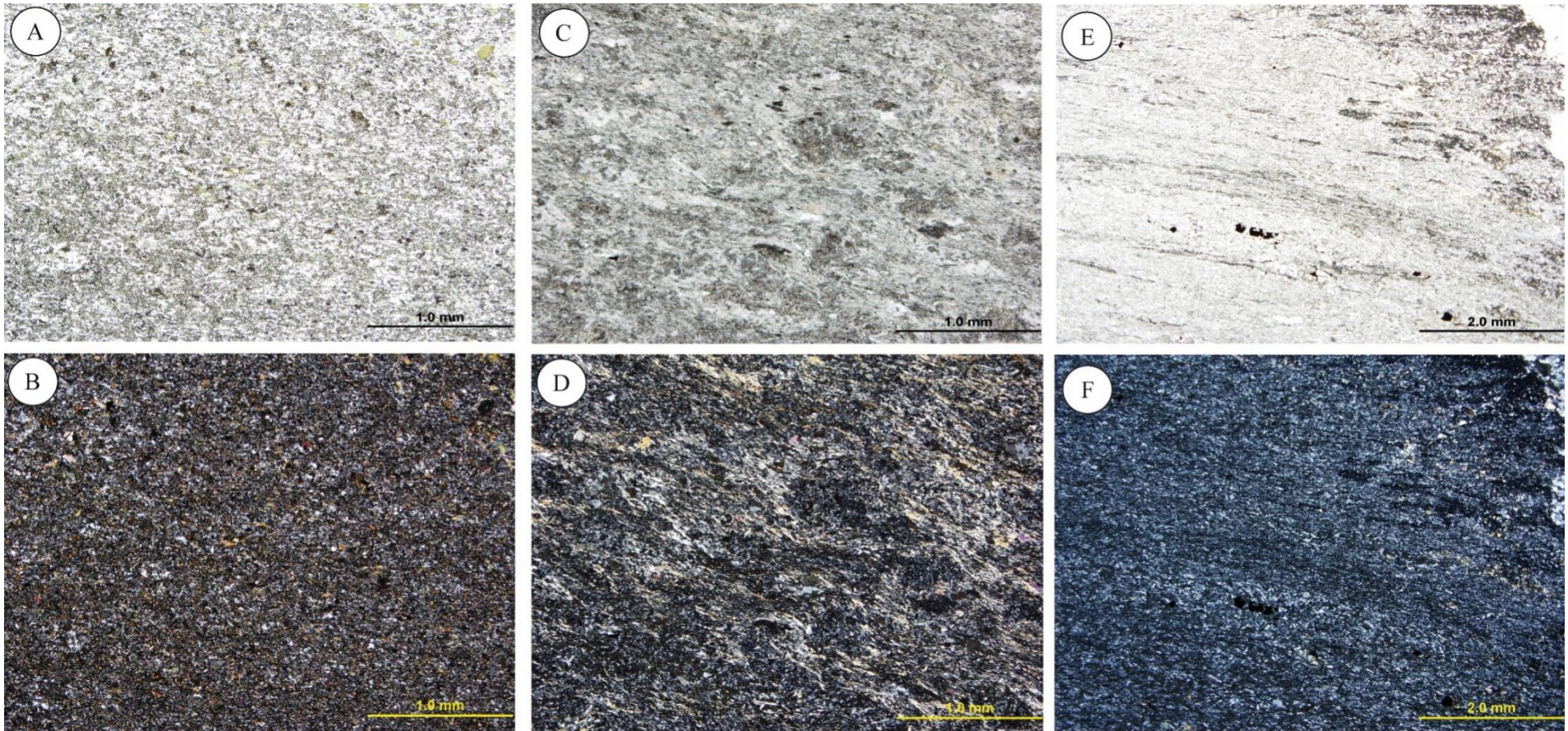


Figure 4.9 : Photographies de trois échantillons de tuf andésitique montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 3/5, lumière naturelle. D) IAP 3/5, lumière polarisée. E) IAP 5/5, lumière naturelle. F) IAP 5/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon B6, la photographie C et D présentent l'échantillon C6 et la photographie E et F présentent l'échantillon A3 (Figures 2.3 et 2.4).

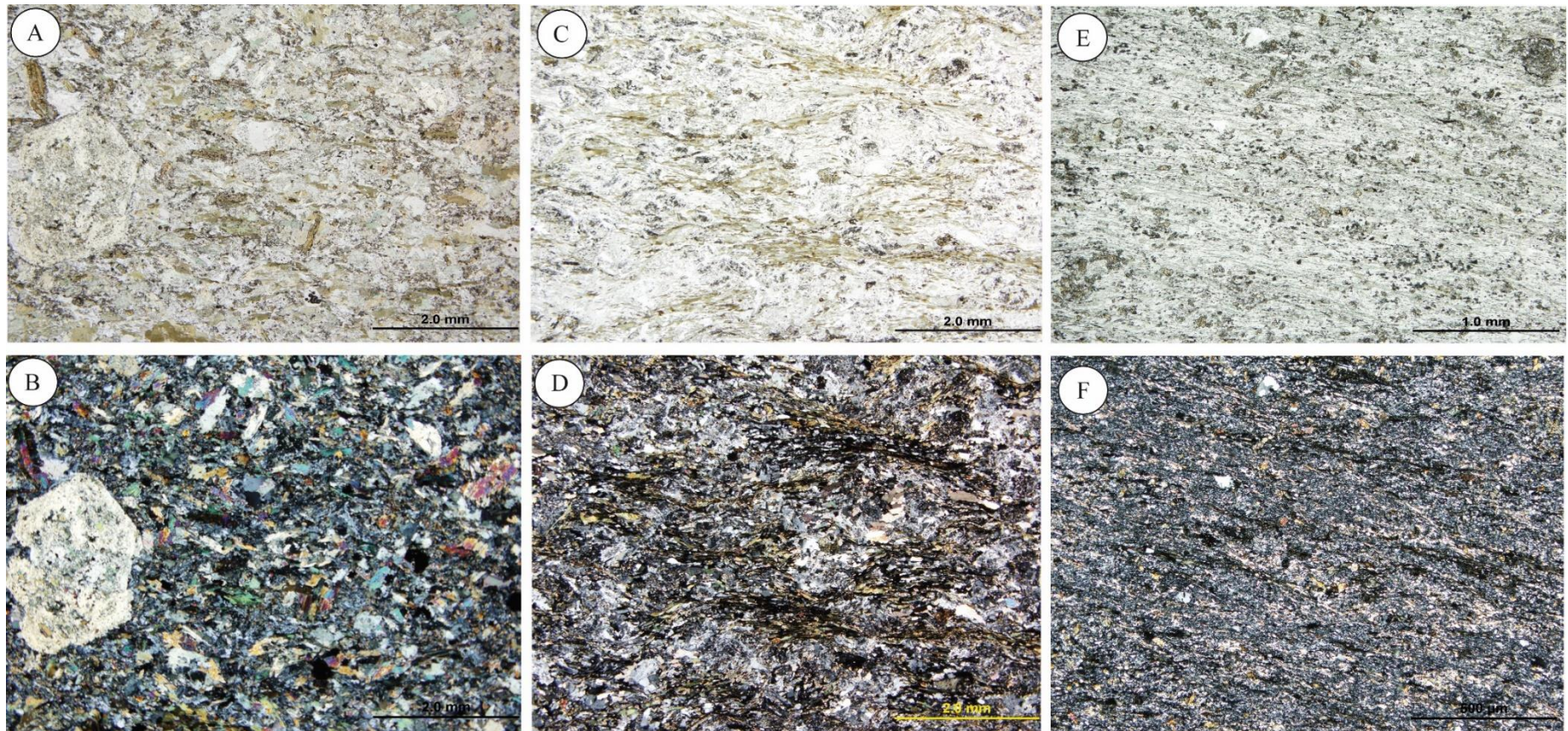


Figure 4.10 : Photographies de trois échantillons de diorite de faciès lamprophyrique montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 2/5, lumière naturelle. D) IAP 2/5, lumière polarisée. E) IAP 3/5, lumière naturelle. F) IAP 4/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon B1, la photographie C et D présentent l'échantillon E3 et la photographie E et F présentent l'échantillon B9A (Figures 2.3 et 2.4).

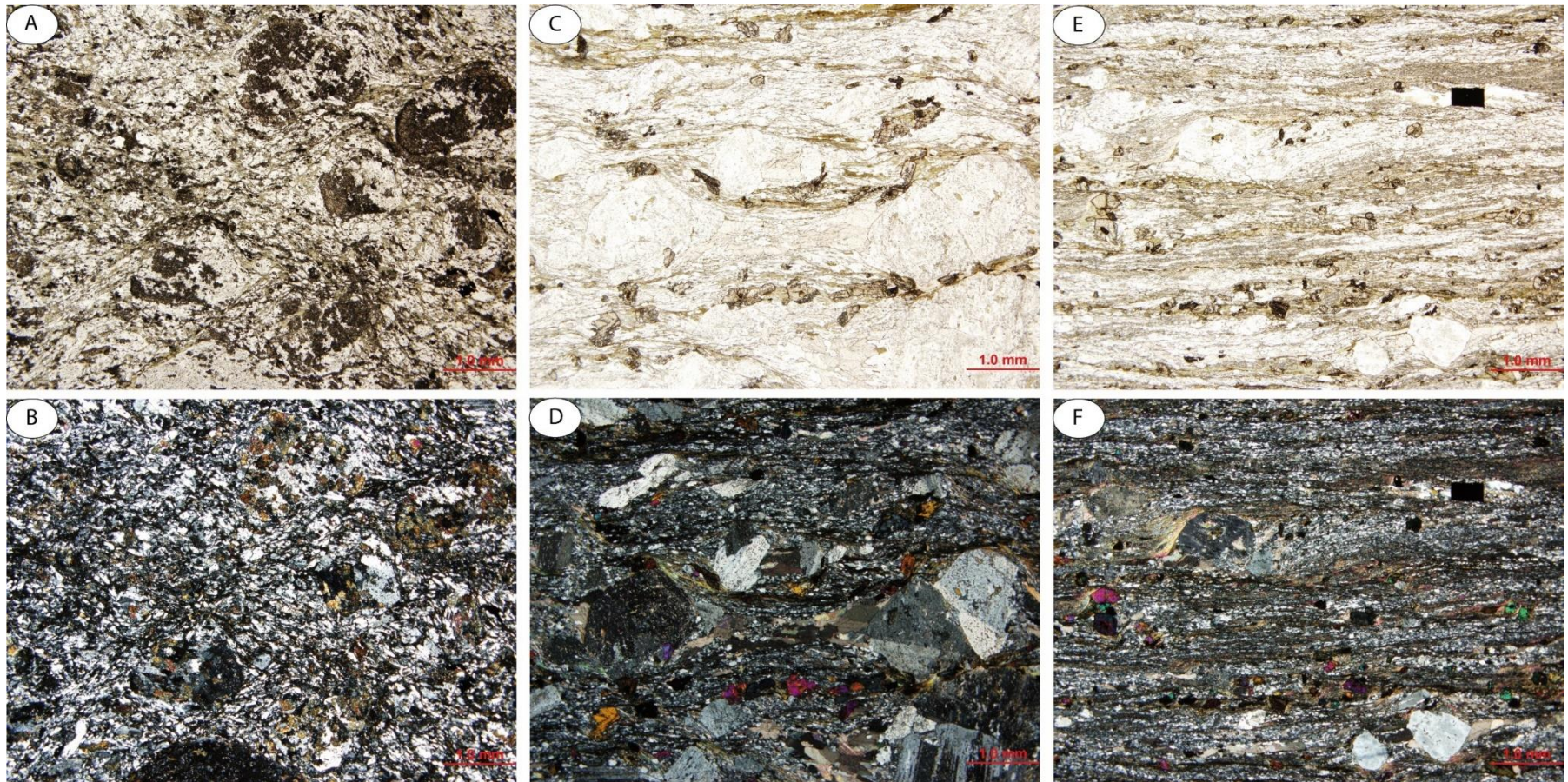


Figure 4.11 : Photographies de trois échantillons de dykes FP montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 3/5, lumière naturelle. D) IAP 3/5, lumière polarisée. E) IAP 5/5, lumière naturelle. F) IAP 5/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon A1-17, la photographie C et D présentent l'échantillon E1-17 et la photographie E et F présentent l'échantillon E2-17 (Figure 2.3).

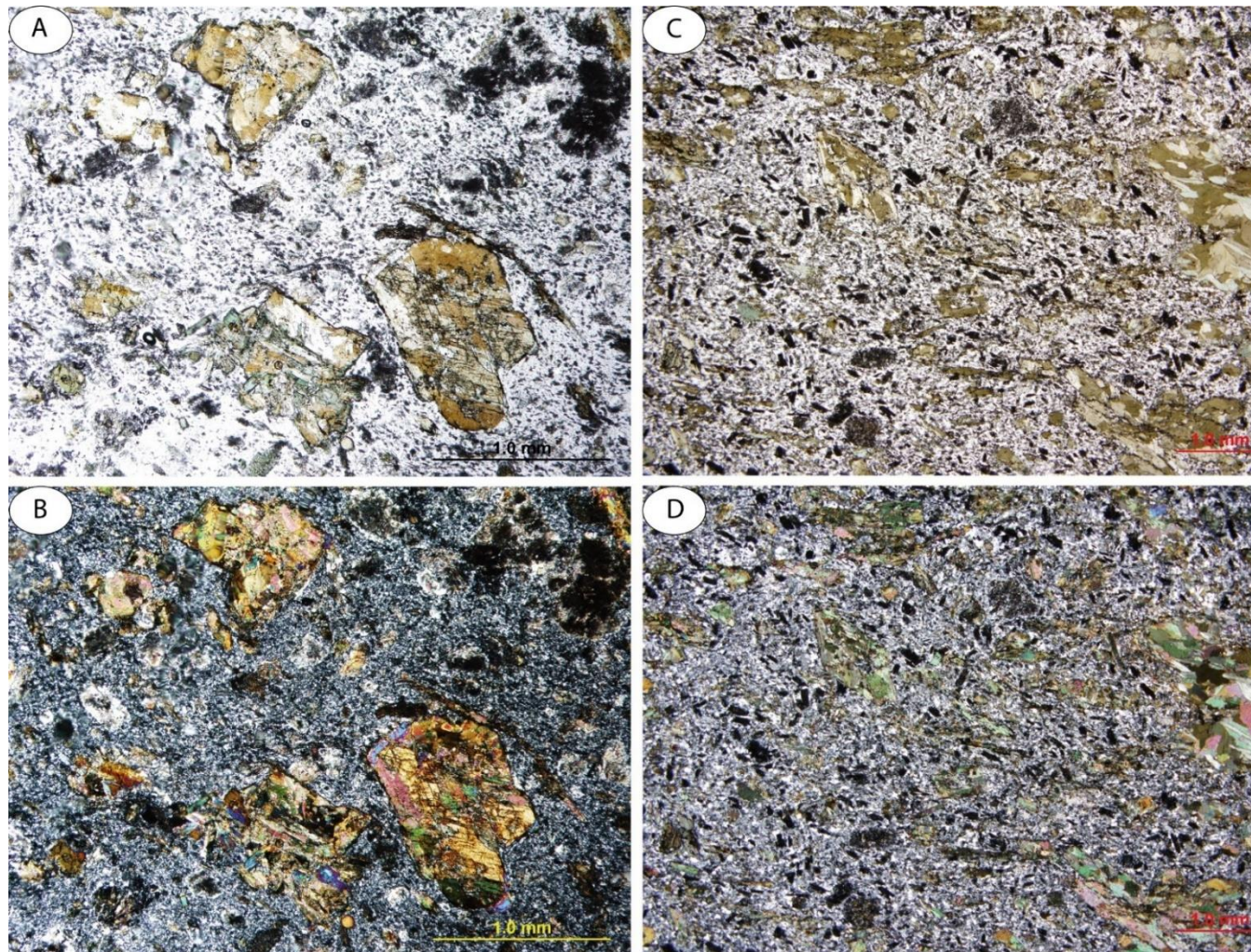


Figure 4.12 : Photographies de deux échantillons de diorites à phénocristaux d'amphiboles montrant une évolution de l'intensité de la déformation. A) IAP 1/5, lumière naturelle. B) IAP 1/5, lumière polarisée. C) IAP 2/5, lumière naturelle. D) IAP 2/5, lumière polarisée. Les photographies A et B présentent l'échantillon B1 et les photographies C et D présentent l'échantillon C12 (Figures 2.3 et 2.4).

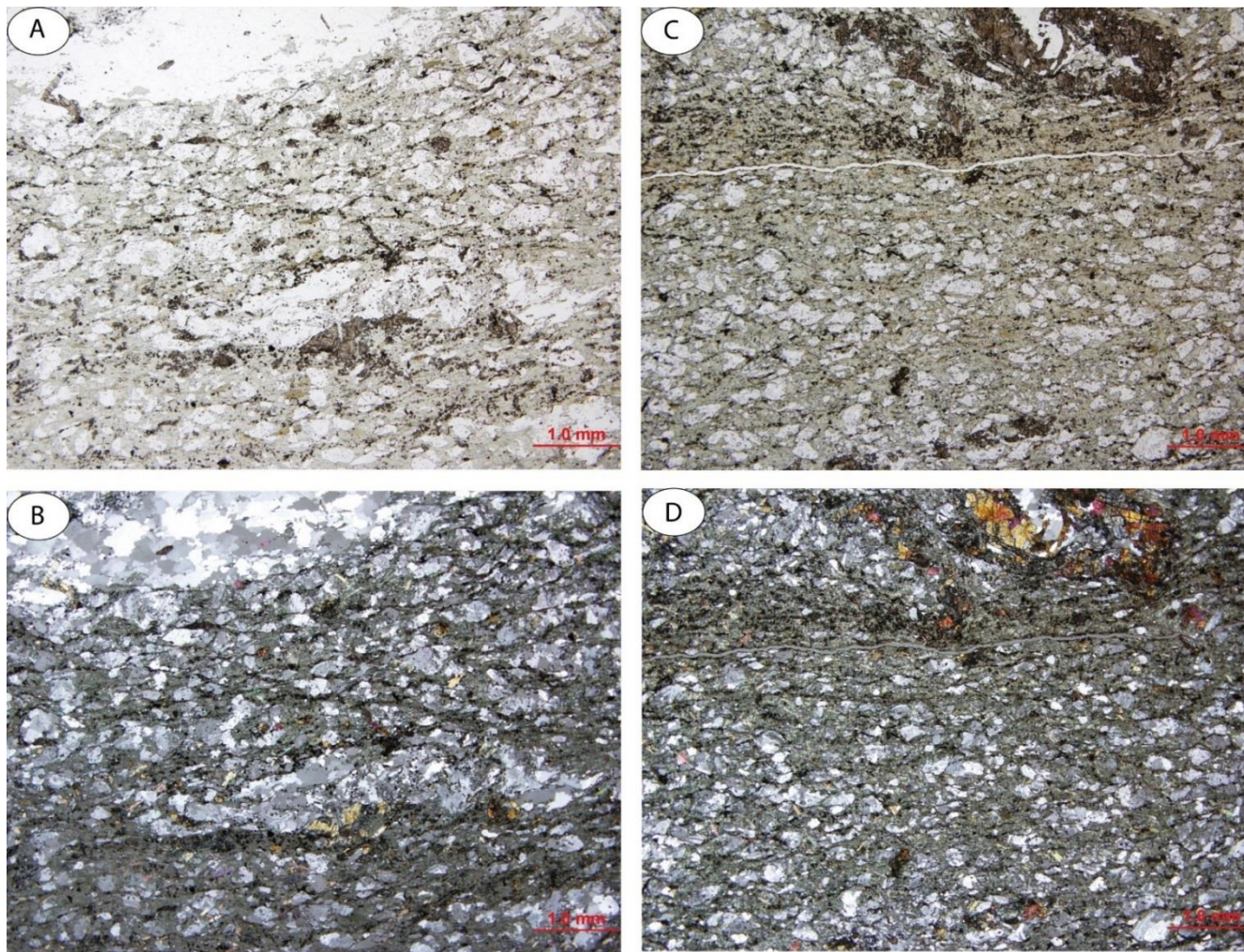


Figure 4.13 : Lamme horizontale (A en lumière naturelle et B en lumière polarisée) vs lamme verticale (C en lumière naturelle et D en lumière polarisée) dans une roche volcanique. La lamme verticale montre globalement une anisotropie légèrement plus forte que la lamme horizontale attribuable à une linéation d'étirement plus verticale que pour tous les autres cas analysés. Les photographies A, B, C et D présentent l'échantillon B1-17 (Figures 2.3 et 2.4).

4.5-Distribution de la déformation

Différentes cartes thématiques permettent d'apprécier l'orientation de la schistosité principale et de l'indice IAP (Figures 4.14 et 4.15). À la Figure 4.14, on constate que la schistosité est globalement orientée E-O. Une intégration des mesures illustrées en trajectoires a été réalisée. Les trajectoires de Sp semblent montrer une relation de recoupement avec les contacts stratigraphiques, ceci à angle faible.

Les trajectoires de Sp et la distribution de l'indice IAP ont permis de définir cinq couloirs de déformation. Les 4 couloirs les plus au sud sont orientés E-O et le couloir de déformation le plus au nord est d'orientation NO-SE. Deux couloirs de déformation sont présents sur l'affleurement A (en bas à gauche), mais seul un couloir est retrouvé dans sa continuité sur l'affleurement B. Le couloir nord de l'affleurement A n'est pas reconnu au sein des unités de faciès lamprophyre. Cette observation suggère que ce faciès, qui constitue 80% de l'affleurement, pourrait s'être mis en place tardivement par rapport à l'histoire de la déformation. Toutefois, le couloir sud est bien retrouvé dans le faciès lamprophyre et ce couloir s'exprime par des Lé horizontales compatibles avec un épisode en décrochement. La présence de Lé horizontales et de Lé plus abruptes sur l'ensemble des affleurements pourrait exprimer le passage d'un événement de raccourcissement vers un événement en décrochement (Figure 4.15).

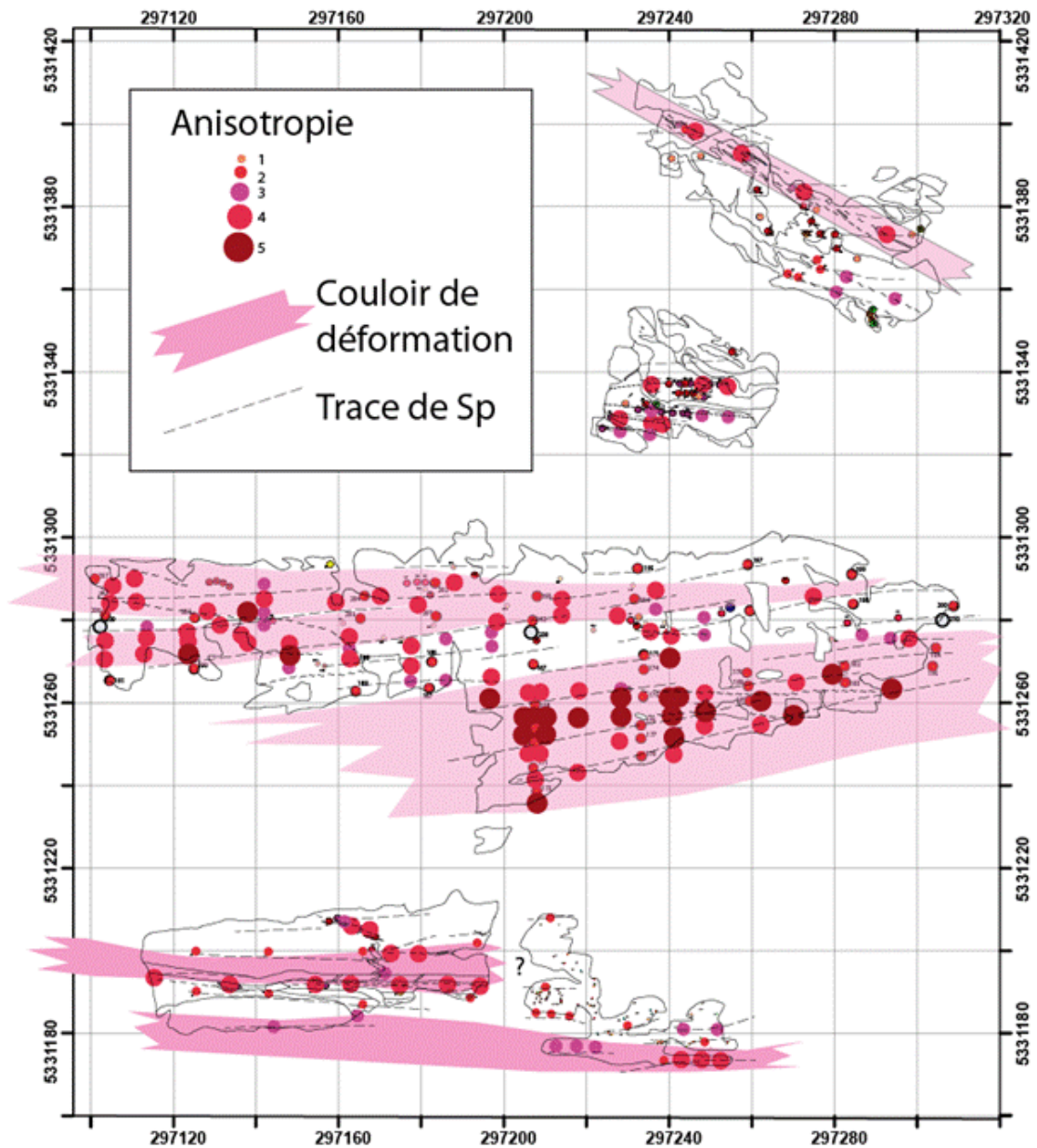


Figure 4.14 : Carte simplifiée du secteur d'étude montrant l'orientation de la schistosité principale et les positions interprétées des couloirs de déformation.

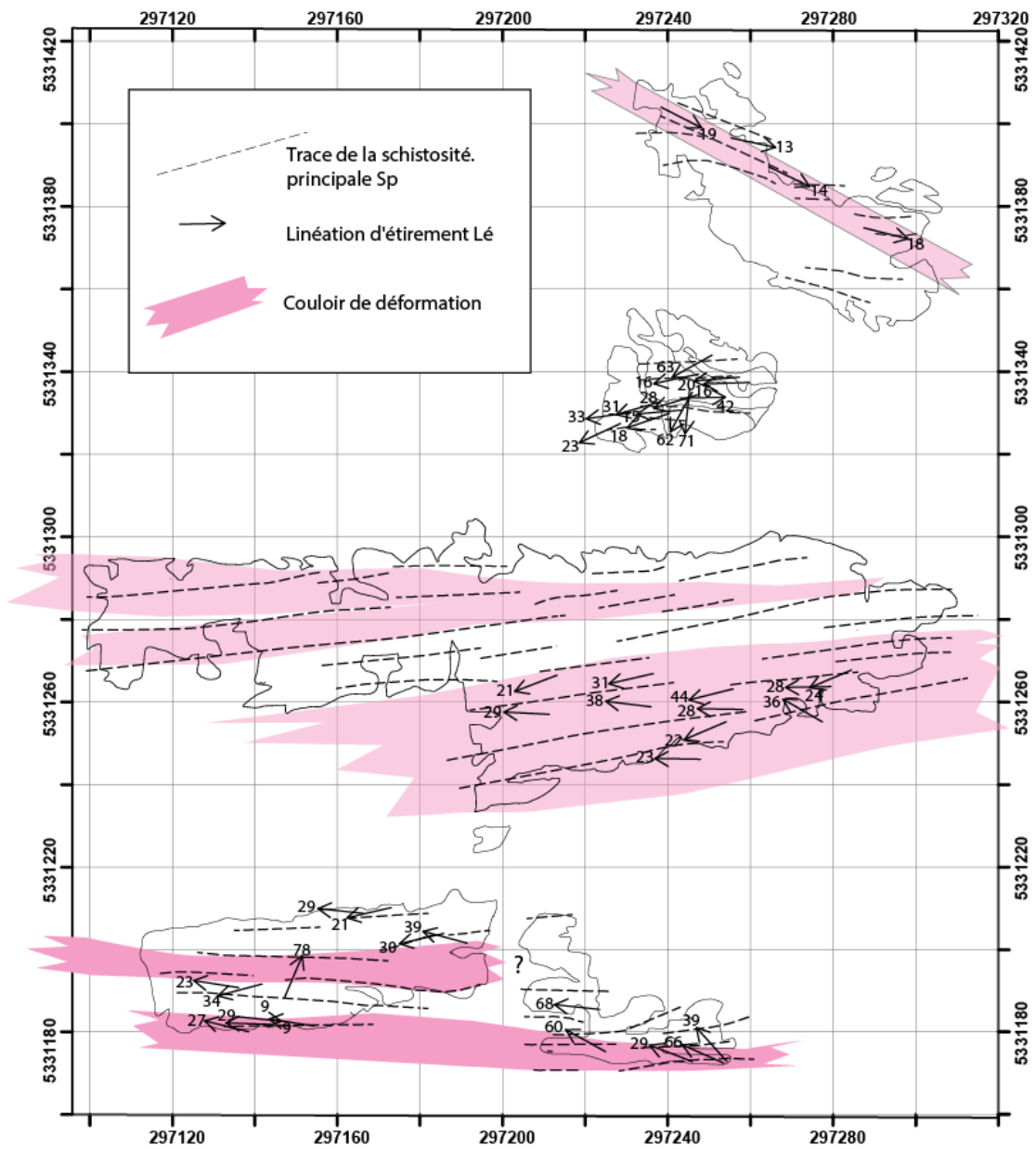


Figure 4.15 : Carte simplifiée du secteur d'étude montrant l'orientation des linéations d'étirement et les positions interprétées des couloirs de déformation.

4.6-Indicateurs de cisaillement

Plusieurs bandes de cisaillement (clivages de crénulation en extension) sont visibles dans la zone de cisaillement au N de l’affleurement E. Ces bandes de cisaillement sont pluricentimétriques et surtout contenues dans le dyke de PF4 d’orientation SE. Ces bandes de cisaillement sont compatibles avec un mouvement dextre (Figure 4.16) et compatibles avec les L_é horizontales.

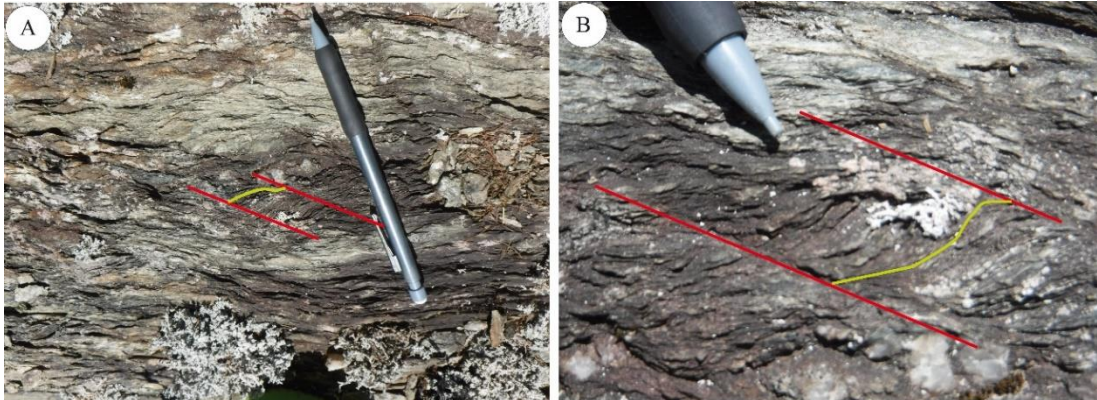


Figure 4.16 : Bandes de cisaillement sur le terrain d’étude. Le crayon indique le nord pour A.

Notons également la présence de veines de quartz boudinées antithétiques compatibles également avec un mouvement dextre (Figure 4.17). Ces veines sont situées dans le dyke de diorite de faciès lamprophyre, sur l’affleurement E.

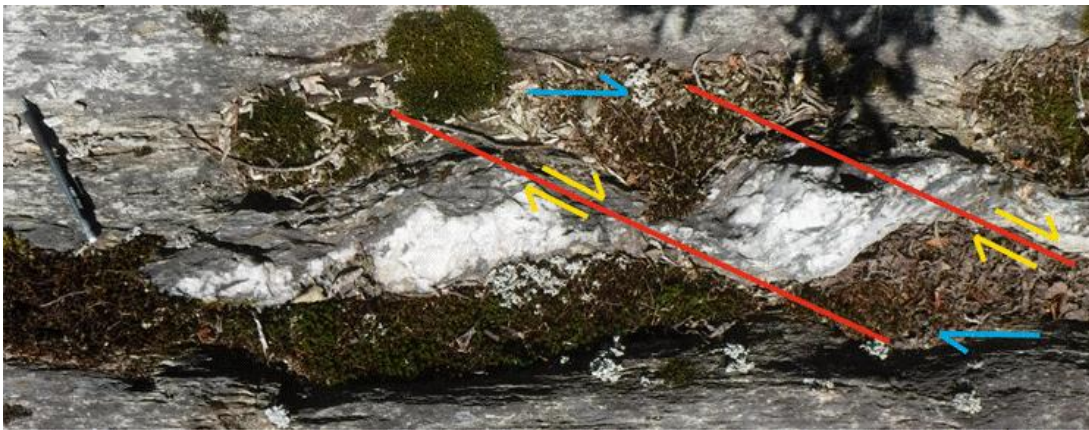


Figure 4.17 : Veines de quartz boudinées indiquant un mouvement dextre. Le crayon pointe vers le nord.

Un indicateur de type delta a été observé dans l’un des clastes situés dans les roches volcanoclastiques. Ce fragment de forme delta montre des queues courbées plutôt bien

exprimées et compatibles avec une rotation horaire dextre (Hanmer et Passchier, 1991) (Figure 4.18).



Figure 4.18 : Fragment montrant un indicateur de cisaillement de type delta dans le tuf andésitique (Photo de R. Daigneault, 2011).

4.7 - Veines de quartz-tourmaline

Le terrain d'étude présente plusieurs veines de quartz-tourmaline. Il est possible d'observer deux familles de veines : 1) une famille subhorizontale et 2) une famille oblique subverticale (Figure 4.19). La famille subhorizontale est retrouvée dans toutes les lithologies et même au sein de l'unité de DFL. La famille subverticale est retrouvée dans certains dykes de FP. Les deux familles présentent sensiblement une même paragenèse avec quartz dominant et de 5 à 10% de tourmaline. Leur épaisseur est centimétrique à décimétrique, cependant il est difficile pour certaines veines d'établir leur épaisseur. Les veines subhorizontales montrent l'effet d'une déformation surimposée avec des enveloppes courbées et ondulées et la présence de stries de glissement. Toutefois, les veines ne sont pas rubanées et ne présentent pas d'ouvertures à remplissages multiples. De plus, aucune valeur aurifère significative n'a été rapportée jusqu'à maintenant.

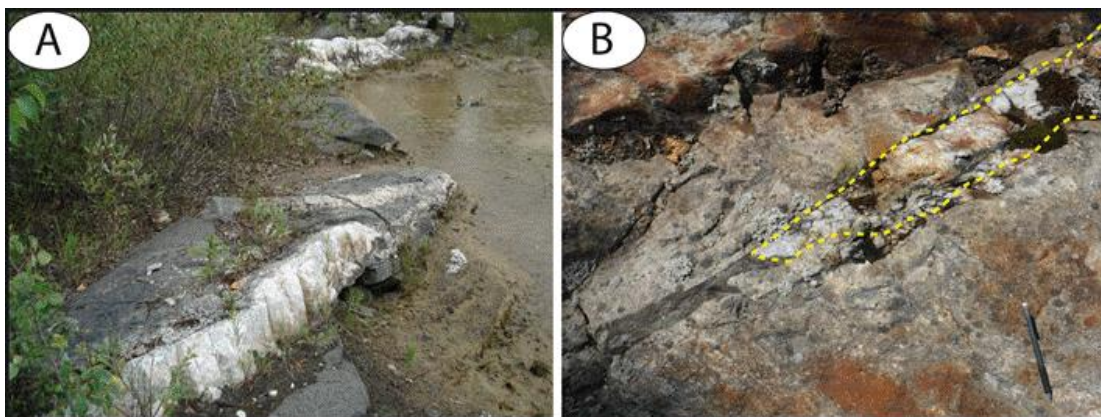


Figure 4.19 : Photographies (A) d'une veine de quartz-tourmaline subhorizontale dans l'unité de DFL sur l'affleurement D; et (B) d'une veine de quartz-tourmaline dans le dyke PF2 sur l'affleurement A.

4.8 - Synthèse

Pour la majorité des échantillons décrits au microscope, la lame horizontale est celle qui présente l'anisotropie la plus développée par comparaison à la lame verticale. Une seule exception à cette règle a été observée pour l'échantillon B1-17. Dans tous les cas, la taille des grains diminue lorsque l'indice d'anisotropie augmente, ce qui valide l'interprétation d'une augmentation de la déformation favorisant la recristallisation dynamique.

La schistosité principale est globalement orientée E-O et, en combinaison avec quelques Lé plus abruptes, indique un raccourcissement N-S. La présence de linéations ayant des plongées plus horizontales suggère un mouvement de décrochement tardif qui se concentre surtout dans les couloirs de déformation plus intense. Un mouvement dextre est déterminé grâce aux indicateurs de cisaillement observés sur le terrain, comme les bandes de cisaillement et les indicateurs cinématiques de type delta.

On observe la présence d'un couloir de déformation d'orientation SE sur l'affleurement E. Ce couloir est centré sur un dyke de porphyre feldspathique qui a possiblement servi d'anisotropie préférentielle pour le développement du couloir. Le dyke pourrait être syn- ou prédéformation ductile. Mais un autre dyke de porphyre feldspathique, de composition différente, est également observé dans un couloir de déformation orienté E-O sur l'affleurement A et ne se poursuit pas sur l'affleurement B situé plus à l'est. L'unité de

DFL présente sur l’affleurement B semble donc recouper, ou à tout le moins ne pas être affectée par ce couloir. Le couloir sud, dominé par le décrochement, affecte toutefois le DFL.

CHAPITRE V

INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

5.1-Typologie des intrusions porphyriques

Les affleurements du secteur « Val-d'Or Est » présentent une grande diversité d'intrusions. Ces intrusions sont toutes d'affinité calco-alkaline. Elles se distinguent globalement en quatre familles : 1) les diorites de faciès lamprophyre, 2) les diorites à phénocristaux d'amphibole, 3) les porphyres feldspathiques, et 4) les aplites.

Comme mentionné au chapitre 2, les dykes de FP se subdivisent en 4 sous-familles présentant des caractéristiques et des compositions distinctes.

La famille PF2 est mégascopiquement semblable aux dykes FP, lesquels sont communément identifiés comme étant des G-dykes aux mines Sigma et Lamaque. Ces dykes sont composés de phénocristaux prismatiques de feldspaths de 5 à 10 mm de longueur baignant dans une matrice de plagioclases sous forme de bâtonnets allongés. La figure 5.1 montre une comparaison des PF avec ceux des mines Sigma-Lamaque. On y voit que le spectre du PF2 est similaire aux dykes reconnus à Lamaque (Figure 5.1) (Daigneault, 1983).

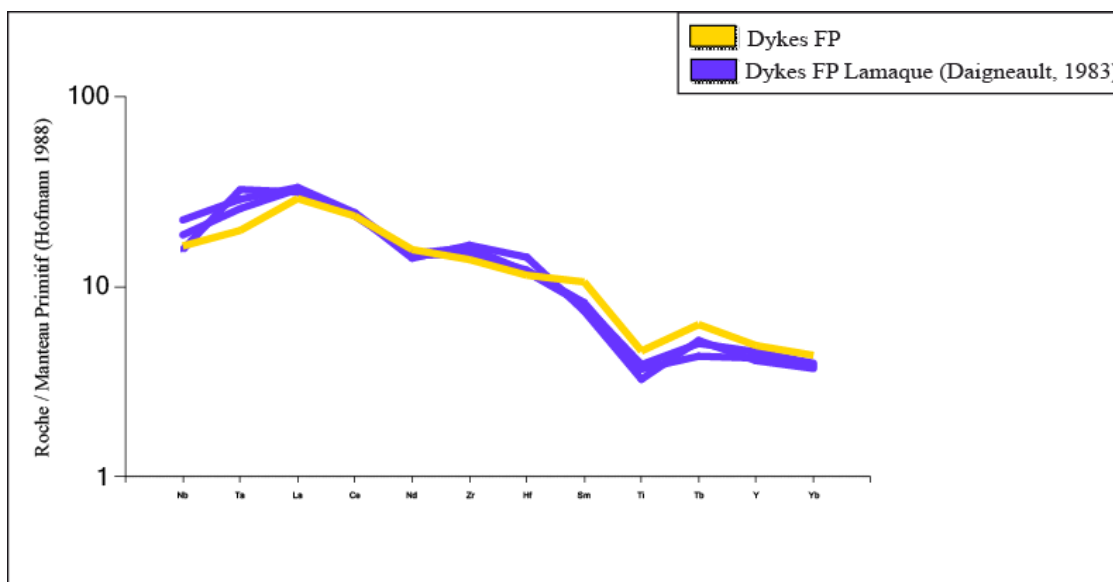


Figure 5.1 : Comparaison des dykes FP de l'affleurement « Val-d'Or Est » et de la mine Lamaque

Plusieurs dykes ont été classés sur le terrain comme des diorites de faciès lamprophyre (DFL). En effet, les dykes de DFL présentent certaines analogies avec les lamprophyres d'affinité calco-alkaline (Rock, 1991; Wyman et Kerrich, 1989, 1993; Wyman et al., 1995; Mathieu et al., 2017). Les dykes de DFL se caractérisent par de nombreux xénolithes. Or, les lamprophyres étant riches en fluides, il est plus facile pour ce genre d'unité de tracter des xénolithes. Les dykes de DFL se caractérisent également par la présence de phénocristaux de hornblende et de biotite, un autre élément compatible avec les lamprophyres. Toutefois, un échantillon montre quelques phénocristaux de feldspath alors que la matrice type des lamprophyres est généralement constituée de feldspaths équigranulaires. Localement, des petites structures globuleuses (1-2 mm) observées sur le terrain et en lames minces peuvent être interprétées comme des ocellies, soient des textures d'immiscibilité liquide (Rock, 1991).

Pour appuyer les observations mégascopiques, il a été ajouté sur le diagramme multi-éléments la médiane des lamprophyres de Wyman et Kerrich (1989, 1993; Wyman et al., 1995). Les profils de terres rares des DFL sont fortement ressemblants à la médiane de Wyman, bien que cette dernière ne soit pas complète par manque de certains éléments analysés (Figure 5.2). Mathieu et al. (2017) indiquent toutefois que la chimie n'est pas discriminante pour attribuer le nom lamprophyre à une roche. Le spectre multi-éléments est fractionné et va également

dans le sens de cette interprétation. L'ensemble des caractéristiques des lamprophyres et leur correspondance avec les unités de DFL sont présentées au Tableau 5.1. Pour des raisons de simplicité, le terme diorite de faciès lamprophyre est conservé.

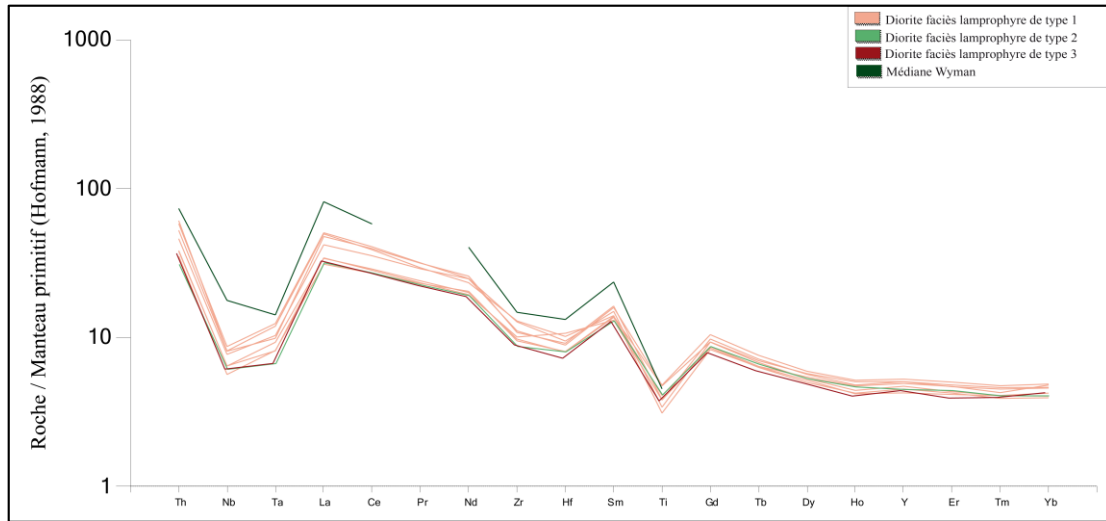


Figure 5.2 : Diagrammes des terres rares des DFL et de la médiane des lamprophyres de Wyman et Kerrich (1989, 1993) et de Wyman et al., 1995).

Tableau 5.1 : Principales caractéristiques des lamprophyres (selon Rock, 1991; Mathieu et al., 2017) et comparaison avec l'unité de DFL.

Caractéristiques des lamprophyres		DFL Val-d'Or Est
Terrain	Intrusions de faible volume	Oui
	Macrocristaux d'amphibole et de biotite	Oui
	Xénolithes	Oui, très abondants
	Ocelli	Possible, localement
Pétrographie	Matrice feldspathique	Oui, mais localement en petits phénocristaux
	Phénocristaux d'amphibole	Oui
	Phénocristaux de biotite	Oui
Géochimie	Appauvrissement en éléments HFSE	Non diagnostiqué

5.2-Déformation

Les roches volcaniques semblent avoir enregistré la partie la plus importante de la déformation et présentent les degrés d'anisotropie les plus élevés. Ainsi plusieurs couloirs de déformation E-W sont tracés au sein de ces unités. Bien que les linéations d'étirement au sein des roches volcaniques soient surtout subhorizontales, quelques vestiges de linéation subverticales sont localement préservés et semble démontrer l'effet du raccourcissement N-S typique observée dans la Formation de Val-d'Or (Pilote, 2000 ; Robert, 2001). La présence de veines de quartz-tourmaline subhorizontales est également compatible avec cet épisode de raccourcissement.

La diorite de faciès lamprophyre est une unité qui présente un degré de déformation globalement plus faible par comparaison aux unités volcaniques. Seuls quelques couloirs de déformation y sont reconnus. Hors des couloirs, ce faciès présente simplement un degré d'anisotropie faible. L'un des couloirs E-O reconnus dans les roches volcaniques de

l’affleurement A ne semble pas se poursuivre sur l’affleurement B, occupé par la DFL dans sa continuité orientale (Figures 4.14 et 4.15). Ceci pourrait indiquer que ce couloir produit par l’épisode de raccourcissement est recoupé par l’intrusion de DFL. Une autre possibilité serait que la zone de déformation puisse contourner par le nord cet affleurement.

Les dykes de diorite à phénocristaux d’amphibole présentent les degrés d’anisotropie les plus faibles. Ces dykes peuvent donc être interprétés comme s’étant mis en place plus tardivement dans l’histoire de la déformation. Ils présentent globalement une orientation NE qui serait plus compatible avec un décrochement senestre sur les zones de cisaillement E-O mais cela pourrait être aussi dû à une rotation horaire d’une orientation préalable différente. Certains dykes de DFL ont aussi des directions NE et l’un d’entre eux montre des évidences de plissement qui serait plus compatible avec une direction originale plus NO-SE. Il est intéressant de noter que la famille de veines de quartz oblique verticale est aussi d’orientation NE.

La dominance de la Lé subhorizontale est un élément marquant du secteur d’étude. Cette Lé est bien sûr mieux exprimée dans le couloir de déformation SE présent sur l’affleurement E mais est aussi bien imprégnée dans les couloirs E-W. La combinaison avec plusieurs types d’indicateurs de cisaillement (bandes de cisaillement, delta) suggère un mouvement globalement dextre pour l’ensemble du secteur. Ce mouvement dextre serait survenu après le raccourcissement bien que le tout puisse s’intégrer dans une évolution progressive d’une déformation en transpression dextre. Le style de décrochement dominant observé dans la zone d’étude contraste avec le style en raccourcissement documenté aux mines Sigma-Lamaque (Robert et Brown, 1986a ; Gaboury et al., 2001).

Les veines de quartz présentes dans le secteur d’étude ne présentent pas d’ouvertures multiples. De plus, aucune valeur aurifère significative n’a été rapportée jusqu’à maintenant. L’absence de rubanement semble indiquer l’absence de cyclicité apparente et d’ouverture/remplissage caractéristique des veines orogéniques de Sigma-Lamaque

(Daigneault, 1983; Robert et Brown, 1986a). Il est possible que le régime de raccourcissement ait passé en régime coulissant empêchant ainsi la pressurisation du système favorable aux cycles sismiques reconnus pour l'orogénisme (modèle de faille-valve de Sibson, 1990). Cette hypothèse est la plus plausible, car c'est la plus importante différence observée avec les mines proches.

5.3-Interprétation du DFL

Une interprétation des contacts de l'unité de DFL (unités lamprophyriques) a été faite à partir de la carte du champ magnétique régional et aussi d'un levé magnétique de haute résolution non publique (données d'Integra Gold / Eldorado Gold) et prêté pour l'exercice. Cette interprétation (Figure 5.3) respecte les contacts observés sur les affleurements cartographiés et suit les contours du champ magnétique (gradient vertical) de façon plus globale. On y voit deux masses distinctes de DFL, une première au sud qui aurait la forme d'un filon-couche de 150 m par 30 m d'épaisseur qui suit une faille E-W. La masse plus au nord est plus importante et a la forme d'une intrusion allongée de 600 m de long par 100 m de large. Le décalage sur la faille SE est interprété dextre pour être cohérent avec les observations de terrain.

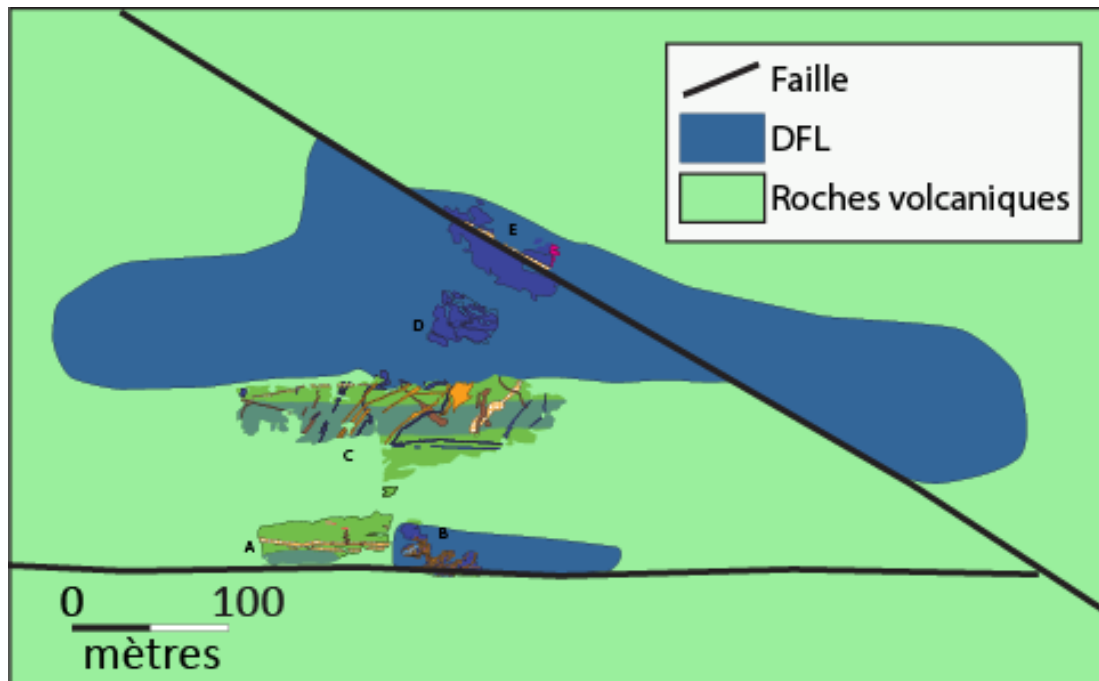


Figure 5.3 : Interprétation des contacts de l'unité de DFL, établie à partir de la carte du champ magnétique.

5.4-Chronologie des événements

Un modèle en quatre étapes (Figure 5.4) permet de présenter la chronologie relative de mise en place des lithologies par rapport à l'évolution de la déformation.

À l'étape (A), les roches volcaniques et volcanoclastiques de la Formation de Val-d'Or sont basculées sous l'amorce du raccourcissement N-S. Deux représentants des dykes FP se mettent en place dans les roches volcaniques. La déformation, dominée initialement par le raccourcissement N-S, produit des failles et une schistosité orientée E-O, et une linéation d'étirement abrupte.

À l'étape (B), la déformation en raccourcissement se poursuit pendant l'introduction tardive des intrusions de DFL. Le raccourcissement permet la formation de veines d'extension de quartz-tourmaline subhorizontales à cette étape. Elles ne sont cependant pas représentées sur le modèle à cause de leur orientation dans l'espace et leur taille. La présence de ces veines de quartz-tourmaline et les vestiges de linéations verticales

appuient l'idée d'un raccourcissement. Toutefois, ces veines sont observées localement seulement et lorsque visibles, elles sont massives sans rubanement. Ceci semble appuyer l'idée qu'elles ne se sont pas formées par des ouvertures avec remplissages multiples typiques des veines orogéniques des mines Sigma-Lamaque. Le régime coulissant observé pourrait ne pas avoir favorisé la pressurisation du système comme celui attendu dans le modèle de faille-valve (Sibson 1990).

À l'étape (C), un autre représentant de dyke de FP se met en place et recoupe l'unité de DFL au sein d'une zone de cisaillement dextre de direction SE.

À l'étape (D), le système de déformation évolue globalement du raccourcissement vers le décrochement dextre. Cela amène la superposition et la dominance de linéations d'étirement horizontales telles qu'observées dans les échantillons. Les dykes de diorite à phénocristaux d'amphiboles se mettent en place pendant cet événement.

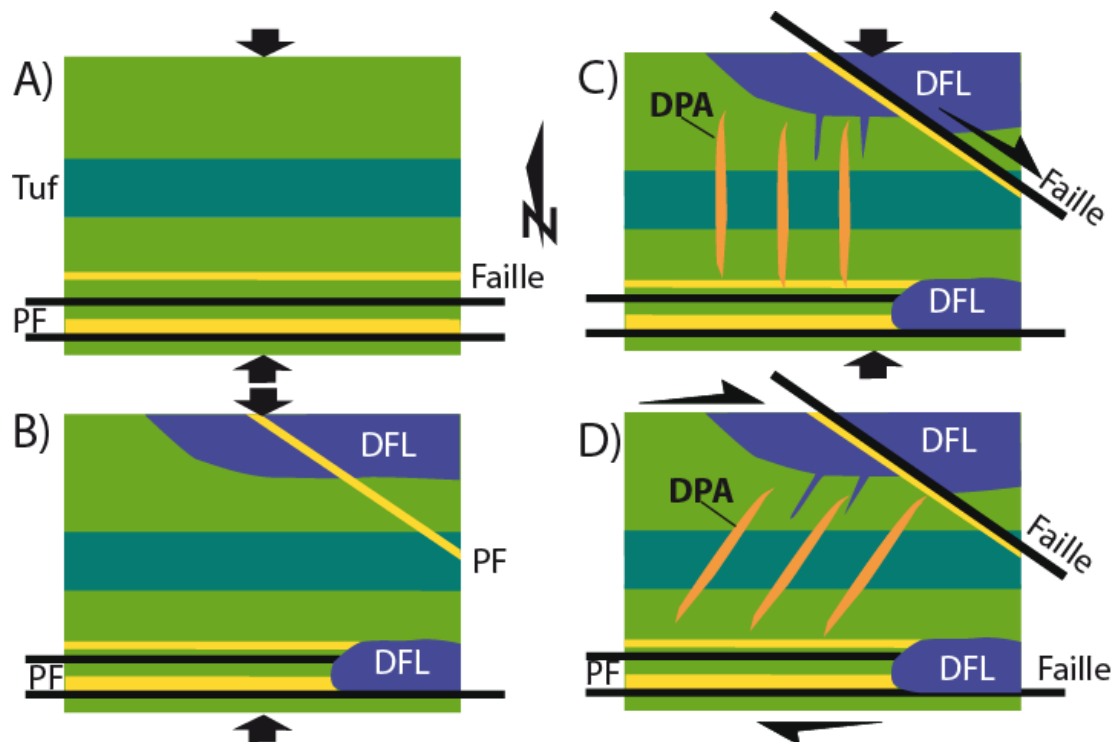


Figure 5.4 : Modèle montrant la chronologie relative de mise en place des différentes unités et l'évolution de la déformation régionale pour le secteur d'étude (voir dans le texte pour plus de détails).

CHAPITRE VI

CONCLUSIONS

- La zone d'étude est constituée de roches volcaniques (andésite coussinée et tuf) de composition intermédiaire et d'affinité calco-alkaline, ce qui est typique des unités de la Formation de Val-d'Or.
- La zone d'étude se caractérise par une importante densité de roches intrusives se présentant sous la forme de dykes et de filons-couches.
- Trois grandes familles de roches intrusives sont reconnues, outre les intrusions gabbroïques synvolcaniques. Il s'agit :
 1. de diorite de faciès lamprophyre (DFL), mafiques à intermédiaires et d'affinité calco-alkaline se présentant sous la forme de deux filons-couches E-O respectivement de 30 m et 100 m d'épaisseur et de dykes métriques d'orientations E-O et NE;
 2. de dykes de porphyre feldspathique (PF), présentant plusieurs sous-familles d'orientation et de composition distinctes;
 3. de diorite à phénocristaux d'amphibole (DPA), intermédiaire, et d'affinité calco-alkaline et se présentant sous forme de dykes métriques d'orientation NE.
- Quatre types de dykes de porphyre feldspathique d'épaisseur métrique à localement multimétrique sont reconnus. Le PF1 est de direction E-W et est d'affinité tholéitique, le PF2 est orienté E-W et transitionnel, le PF3 et le PF4 sont calco-alkalins mais le premier montre une orientation NE tandis que le second est SE.
- Des dykes d'aplite, de faible épaisseur et d'affinité calco-alkaline, recoupent le tout.
- Une unité de brèche magmatique présentant des fragments ressemblant à la famille de DPA et des fragments plus mafiques, le tout dans une matrice aphanitique, se met en place tardivement.

- Les roches montrent globalement une altération faible à modérée avec de la chloritisation et biotitisation, avec peu de variations de bilans de masse sauf en ce qui concerne le pourcentage en SiO₂. Une altération d'origine volcanogène est privilégiée.
- Les roches montrent des degrés de déformation relativement hétérogènes dépendant de la lithologie.
- La schistosité principale est très bien développée et orientée 265°/70° sur les affleurements A, B et C, et 095°/70° sur les affleurements D et E.
- Des veines de quartz-tourmaline centimétriques à décimétriques sont réparties en 2 familles, 1) subhorizontales, et 2) subverticales obliques, dans les dykes de PF.
- Le terrain se caractérise par la présence de 4 couloirs de déformation E-O.
- Un couloir de déformation d'orientation NO-SE centré sur un dyke de PF montre une empreinte de décrochement dextre marquée.
- Sur l'ensemble de la zone d'étude, les linéations d'étirement sont généralement subhorizontales et seuls quelques vestiges de linéations verticales sont observées.
- Les linéations horizontales, combinées aux différents indicateurs de cisaillement, sont compatibles avec un mouvement de décrochement dextre développé sur l'ensemble des couloirs de déformation E-O.
- L'abondance de dykes et leur grande diversité constituent des signes positifs pour retrouver des minéralisations aurifères orogéniques. Toutefois, le régime de déformation en coulissage semble ne pas avoir favorisé le développement de pièges structuraux pour la minéralisation.
- Un modèle d'évolution permet de proposer la séquence suivante :
 - A. Mise en place et basculement des roches volcaniques suivi des dykes PF1 et PF2 pendant un épisode de raccourcissement N-S, produisant la schistosité Sp et l'amorce de couloirs de déformation E-O;
 - B. Mise en place des phases de DFL dont l'une recoupe un des couloirs E-O;
 - C. Mise en place du PF4 d'orientation SE et accommodement dextre, pendant le raccourcissement N-S et mise en place des dykes de DPA de direction N-S, compatible avec le raccourcissement;

D. Phase de décrochement qui génère les linéations d'étirement horizontales et le mouvement dextre, produisant la rotation/entraînement des dykes N-S vers une orientation NE.

Liste des références

- Ayer, J., Amelin, Y., Corfu, F., Kamo, S., Ketchum, J., Kwok, K., & Trowell, N. (2002). Evolution of the southern Abitibi greenstone belt based on U–Pb geochronology: autochthonous volcanic construction followed by plutonism, regional deformation and sedimentation. *Precambrian Research*, 115(1), 63-95.
- Barrett, T.J., et MacLean, W.H., 1994. Mass changes in hydrothermal alteration zones associated with VMS deposits of the Noranda area. *Exploration and Mining Geology*; **3**: 131-160.
- Barrett, T.J., et MacLean, W.H., 1999. Volcanic sequences, lithogeochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic associated massive sulfide systems: *Reviews in Economic Geology*; **8**: 101–131.
- Beaudoin, A., et Trudel, P. 1989. Géologie des mines New Alger, Wood Cadillac, Central Cadillac, Pandora, Lapa Cadillac et Mic Mac. Ministère de l'Énergie et des Ressources, MB 88-25.
- Belkabir, A., Robert, F., Vu, L., et Hubert, C. 1993. The influence of dikes on auriferous shear zone development within granitoid intrusions: the Bourlamaque pluton, Val-d'Or district, Abitibi greenstone belt. *Can J Earth Sci*; **30** (9): 1924-1933.
- Bedeaux, P., Pilote, P., Daigneault, R., et Rafini, S. (2017). Synthesis of the structural evolution and associated gold mineralization of the Cadillac Fault, Abitibi, Canada. *Ore Geology Reviews*, 82, 49-69.
- Calvert, A., et Ludden, J., 1999. Archean continental assembly in the southeastern Superior Province of Canada. *Tectonics*; **18** (3): 412-429.
- Card, K., 1990. A review of the Superior Province of the Canadian Shield, a product of Archean accretion. *Precambrian Research*; **48** (1-2): 99-156.
- Card, K., et Ciesielski, A., 1986. DNAG# 1. Subdivisions of the Superior Province of the Canadian shield. *Geoscience Canada*; **13** (1) : 5-13.
- Chown, E., Daigneault, R., Mueller, W., et Mortensen, J., 1992. Tectonic evolution of the northern volcanic zone, Abitibi belt, Quebec. *Can J Earth Sci*; **29** (10): 2211-2225.
- Chown, E., Harrap, R., et Moukhsil, A. 2002. The role of granitic intrusions in the evolution of the Abitibi belt, Canada. *Precambrian Research*; **115** (1): 291-310.
- Cooper, A., Barreiro, B., Kimbrough, D., et Mattinson, J. 1987. Lamprophyre dike intrusion and the age of the Alpine fault, New Zealand. *Geology*; **15** (10): 941-944.

- Daigneault, R., Perrault, G., et Bédard, P., 1983. Géologie et géochimie de la mine Lamaque, Val-d'Or, Québec. Bulletin de l'Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; vol. 76, no. 851, pages 111-127.
- Daigneault, R., 1983. Géologie et géochimie du gisement d'or de la mine Lamaque, Val-d'Or, Québec. Mémoire de maîtrise non-publié, École Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, 174 pages.
- Daigneault, R., 1991. Déformation et cisaillement: concepts et applications. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; DV 89-16, 56 pages.
- Daigneault, R., 1996. Couloirs de déformation de la Sous-province de l'Abitibi. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; MB 96-33, 132 pages.
- Daigneault, R., Mueller, W., et Chown, E., 2002. Oblique Archean subduction: accretion and exhumation of an oceanic arc during dextral transpression, Southern Volcanic Zone, Abitibi Subprovince Canada. Precambrian Research; **115** (1): 261-290.
- Daigneault, R., Mueller, W., et Chown, E. 2004. Abitibi greenstone belt plate tectonics: the diachronous history of arc development, accretion and collision. Developments in Precambrian Geology; **12**: 88-103.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M., et Goulet, N., 1982. Evolution of the south-central part of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. Can J Earth Sci; **19** (9): 1729-1758.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., et Rocheleau, M., 1983. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. Can J Earth Sci; **20** (9): 1374-1388.
- Feng, R., et Kerrich, R. 1992. Geochemical evolution of granitoids from the Archean Abitibi Southern Volcanic Zone and the Pontiac subprovince, Superior Province, Canada: implications for tectonic history and source regions. Chemical Geology; **98** (1): 23-70.
- Gaboury, D., Carrier, A., Crevier, M., Pelletier, C., et Sketchley, D.A. 2001. Predictive distribution of fault-fill and extensional veins: example from the Sigma gold mine, Abitibi Subprovince, Canada. Economic Geology; **96** (6): 1397-1405.
- Goldfarb, R., Groves, D., et Gardoll, S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Ore Geology Reviews; **18** (1): 1-75.
- Goodwin, A., et Ridler, R. 1970. The Abitibi orogenic belt. *Sous la direction de. Dans* Symposium on basins and geosynclines of the Canadian Shield. Edited by AJ Baer. Geological Association of Canada; Paper, pp. 70-40.
- Gosselin, P., et Dubé, B., 2005. *Gold deposits of the world: distribution, geological parameters and gold content* (p. 271). Ottawa: Geological Survey of Canada.

- Groves, D. I., 1993. The crustal continuum model for late-Archaeon lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. *Mineralium Deposita*; 28 (6), 366-374.
- Groves, D., Rock, N., McNaughton, N., Golding, S., et Barley, M., 1988. Archean carbon reservoirs and their relevance to the fluid source for gold deposits. *Nature*; 331: 254-257. 39
- Hanmer, S., et Passchier, C. W., 1991. Shear sense indicators: a review. Ottawa: La Commission géologique du Canada; rapport 90-17. 72 pages.
- Hodgson, C.J., et Troop, D., 1988. A new computer-aided methodology for area selection in gold exploration; a case study from the Abitibi greenstone belt. *Economic Geology*; **83** (5): 952-977.
- Hofmann, A. W., 1988. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*; 90 (3), 297-314.
- Imreh, L., 1984. Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et gîtologique. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec; MM 82-04, 72 pages.
- Jébrak, M., et Marcoux, E., 2008. Géologie des ressources minérales. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; MM 2008-01, 668 pages.
- Jensen, L. S. (1976). A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Division of Mines Miscellaneuous paper 66.
- Kerrick, R., et Wyman, D., 1990. Geodynamic setting of mesothermal gold deposits: An association with accretionary tectonic regimes. *Geology*; **18** (9): 882-885.
- Kerrick, R., et Wyman, D., 1994. The mesothermal gold-lamprophyre association: significance for an accretionary geodynamic setting, supercontinent cycles, and metallogenic processes. *Mineralogy and Petrology*; **51** (2-4): 147-172.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R., Streckeisen, A., et Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*; **27** (3): 745-750.
- Le Maitre, R. 2002. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks.
- MacDonald, P., 2005. An integrated study of intrusive rocks spatially associated with gold and base metal mineralization in the Abitibi greenstone belt, Timmins area and Clifford Township: Discover Abitibi Initiative. [Sudbury]: Ontario Geological Survey.

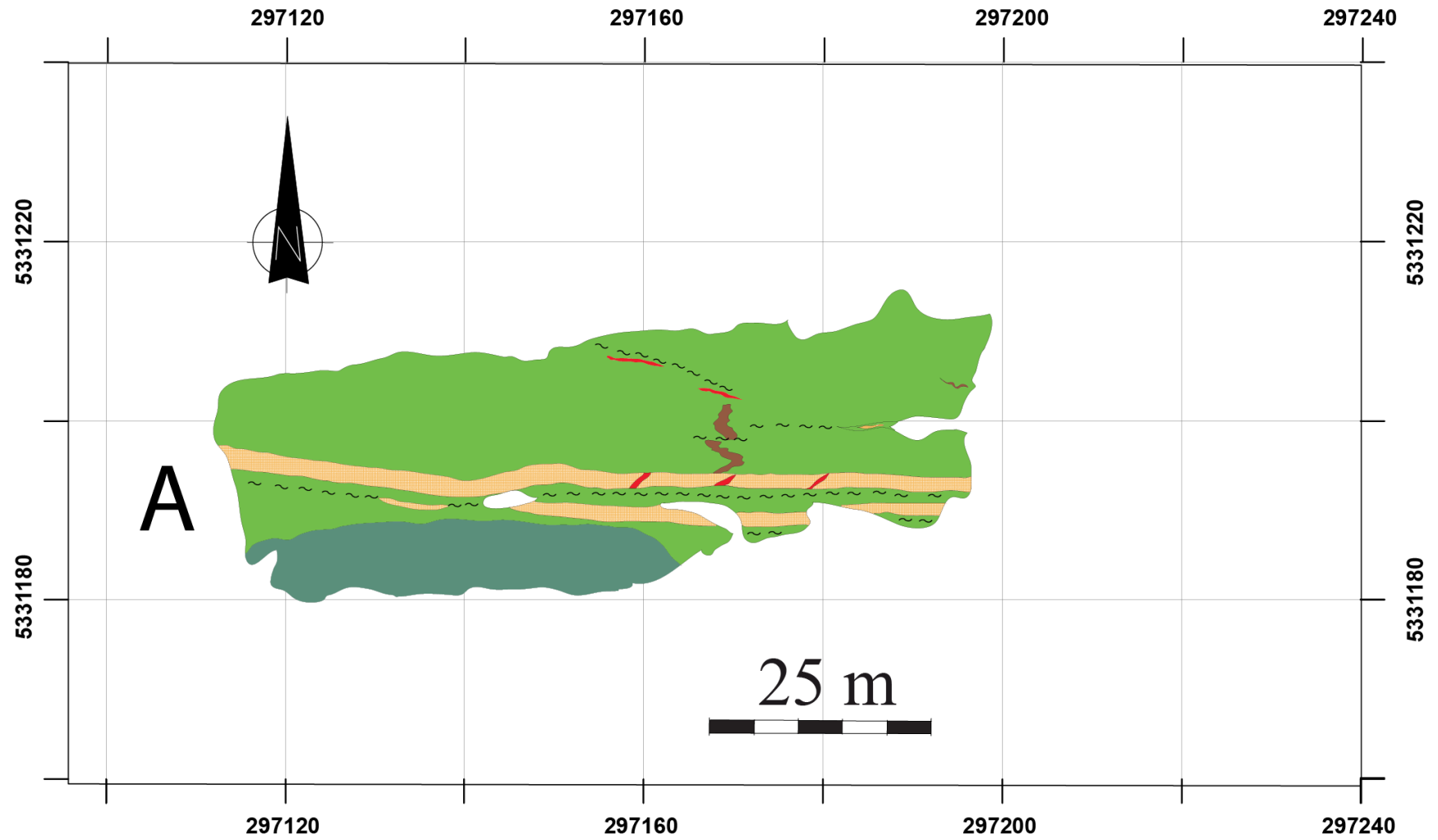
- MacLean, W. H., et Barrett, T. J., 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration*; 48 (2), 109-133.
- Mathieu, L., Bouchard, É., Guay, F., Liénard, A., Pilote, P., et Goutier, J., 2017. Criteria for the recognition of Archean calc-alkaline lamprophyres: examples from the Abitibi Subprovince. *Canadian Journal of Earth Sciences*, (999), 1-18.
- Mitchell, R., 1994. The lamprophyre facies. *Mineralogy and Petrology*; **51** (2-4): 137-146.
- Mueller, W., Donaldson, J.A, 1992. Development of sedimentary basins in the Abitibi belt : an overview. *Canadian Journal of Earth Sciences*; **29**: 2249-2265.
- Mueller, W., Daigneault, R., Mortensen, J., et Chown, E., 1996. Archean terrane docking: upper crust collision tectonics, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Tectonophysics*; **265** (1): 127-150
- Norman, G.W.H., 1948. The Malartic-Haig section of the Southern gold belt of Western Quebec. *Dans: Structural geology of Canadian ore deposits*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy; Jubilee Volume, pages 839-845.
- Pearce, J. A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*; 100 (1), 14-48.
- Phillips, G., et Powell, R. 2010. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model. *Journal of Metamorphic Geology*; **28** (6): 689-718.
- Pilote, P. (*éditeur*), 2000. Géologie de la région de Val-d'Or, Sous-province d'Abitibi – volcanologie physique et évolution métallogénique. Ministère des Ressources naturelles du Québec; MB 2000-09, 110 pages.
- Ramsay, J. G., Shear zone geometry: a review *Journal of Structural Geology*, Vol. 2, No. 1/2, pp. 83 to 99.
- Robert, F., 1983. Étude du mode de mise en place des veines aurifères de la mine Sigma, Val-d'Or, Québec. Thèse de Ph. D. non-publiée, École Polytechnique, Université de Montréal, Montréal, Québec.
- Robert, F., et Brown, A. C., 1984. Progressive alteration associated with gold-quartz-tourmaline veins at the Sigma mine, Abitibi Greenstone belt, Quebec. *Economic Geology*; **79** (2), 393-399.
- Robert, F., et Brown, A.C., 1986a. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec; Part I, Geologic relations and formation of the vein system. *Economic Geology*; **81** (3): 578-592.

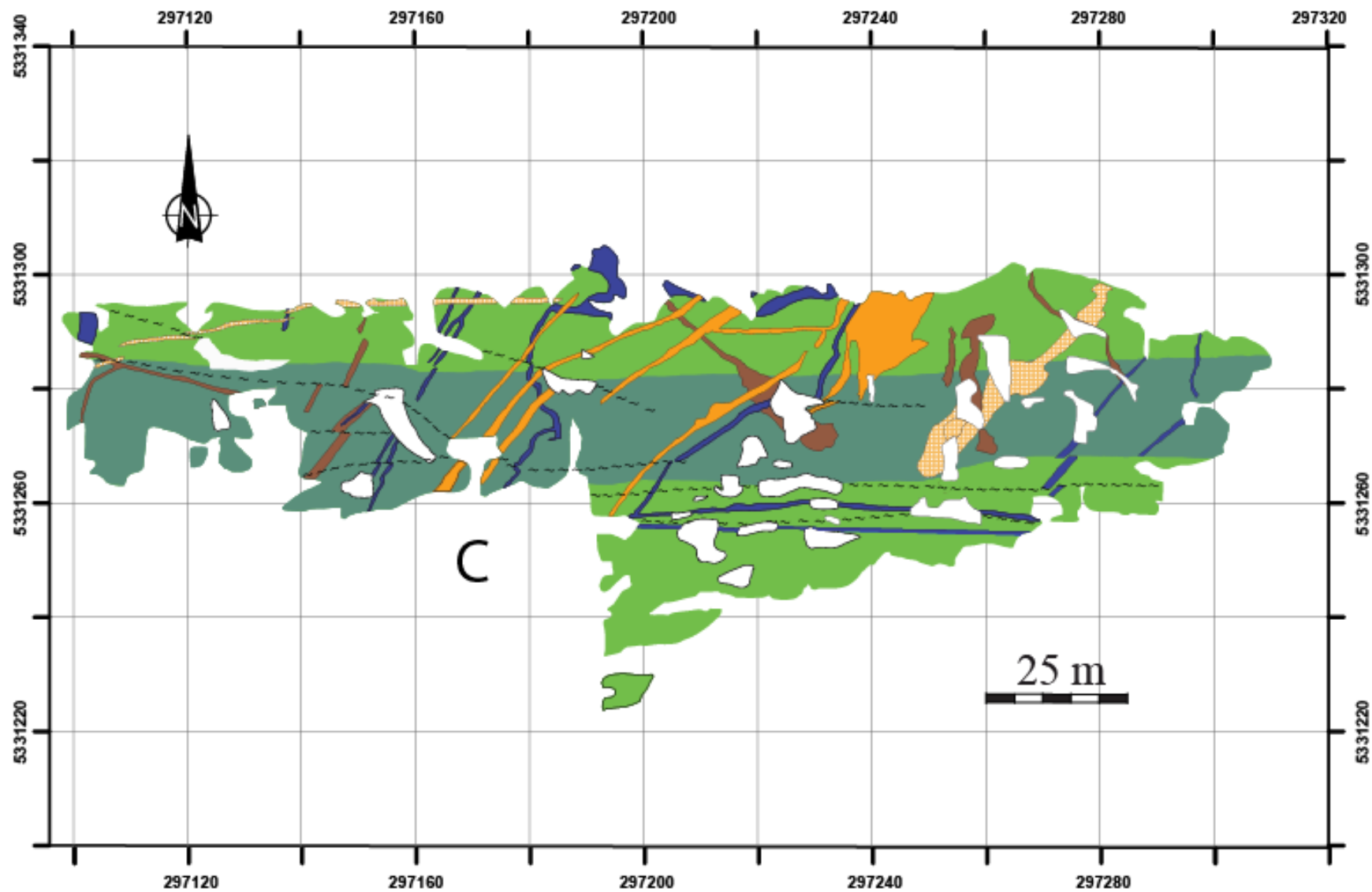
- Robert, F., et Brown, A. C., 1986b. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec; Part II, Vein paragenesis and hydrothermal alteration. *Economic Geology*; **81** (3), 593-616.
- Robert, F., 2001. Syenite-associated disseminated gold deposits in the Abitibi greenstone belt, Canada. *Mineralium Deposita*; **36** (6): 503-516.
- Rock, N.M.S., 1991. Nature, Origin and Evolution of Lamprophyre Melts. In *Lamprophyres*. Springer. pp. 125-149.
- Rock, N.M., et Groves, D.I., 1988. Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits? *Geology*; **16** (6): 538-541.
- Rosenberg, C., 2004. Shear zones and magma ascent: a model based on a review of the Tertiary magmatism in the Alps. *Tectonics*; **23** (3).
- Ross, P. S., et Bédard, J. H., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Canadian Journal of Earth Sciences*; **46** (11), 823-839.
- Sauvé, P., Imreh, L., et Trudel, P., 1993. Description des gîtes d'or de la région de Val-d'Or. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec; MM 91-03, 178 pages.
- Scott, C.R., 2005. *Physical volcanology, stratigraphy, and lithogeochemistry of an Archean volcanic arc: evolution from plume-related volcanism to arc rifting within the SE Abitibi Greenstone Belt, Val-d'Or, Quebec, Canada*. Thèse de doctorat non-publiée, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec, 450 pages.
- Scott, C.R., Mueller, W.U., et Pilote, P., 2002. Physical volcanology, stratigraphy, and lithogeochemistry of an Archean volcanic arc: evolution from plume-related volcanism to arc rifting of SE Abitibi Greenstone Belt, Val-d'Or, Canada. *Precambrian Research*; **115**: 223–260.
- Scott, C.R., Pilote, P., Mueller, W.U., et Lavoie, S., 2000. Volcanologie de la Formation Val-d'Or. *Dans : Géologie de la région de Val-d'Or, Sous-province d'Abitibi – volcanologie physique et évolution métallogénique*. Ministère des Ressources naturelles du Québec; MB 2000-09, pages 21-38.
- Sharpe, J.I., 1968. Canton de Louvicourt. Ministère des Richesses naturelles, Québec; RG 135.
- Sibson, R. H., 1990. Conditions for fault-valve behaviour. Geological Society, London, Special Publications, **54** (1): 15-28.
- Sillitoe, R.H., 1985. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology*; **80** (6): 1467-1514.

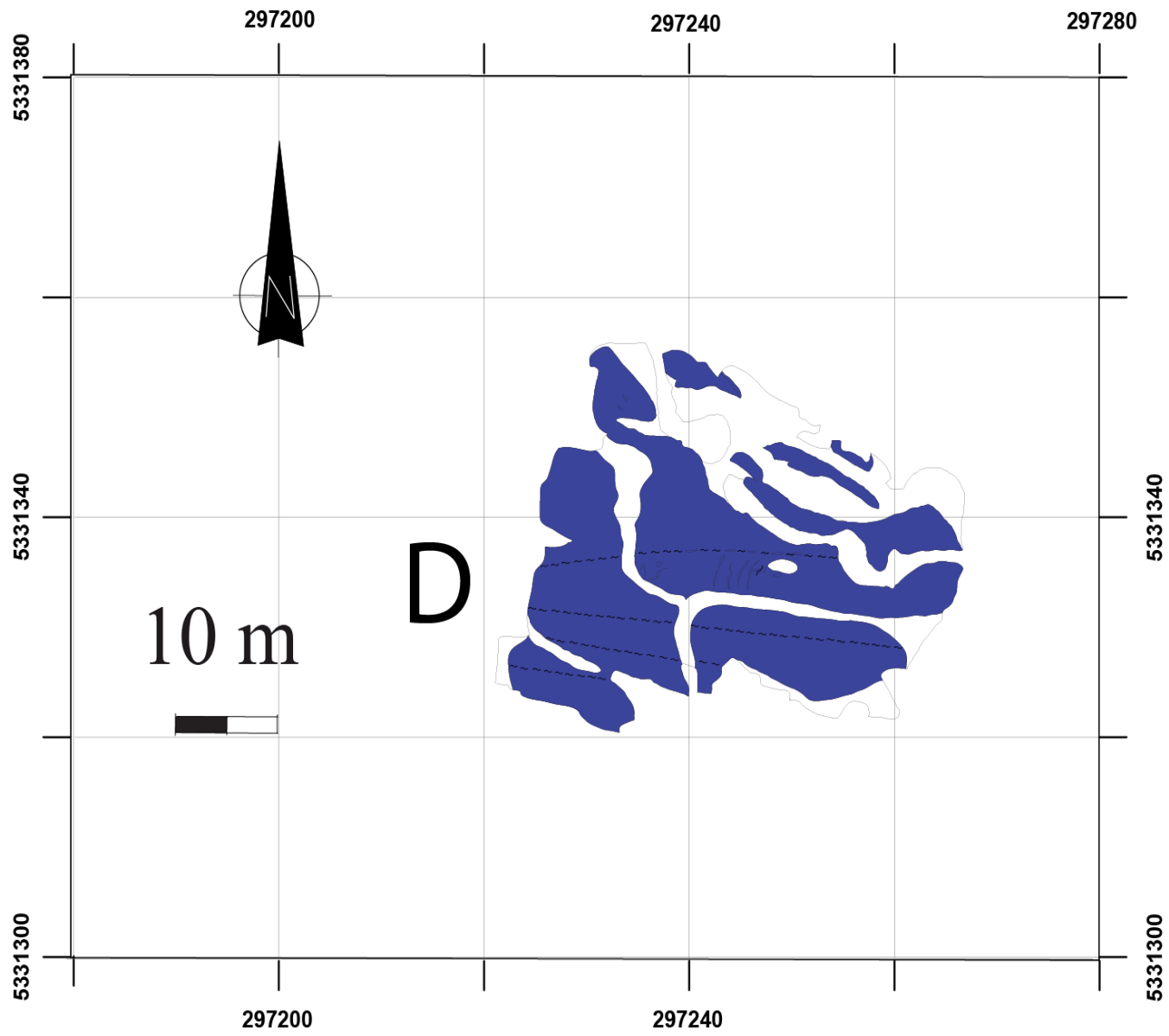
- Trépanier, S., Mathieu, L., Daigneault, R., et Faure, S., 2016. Precursors predicted by artificial neural networks for mass balance calculations: Quantifying hydrothermal alteration in volcanic rocks. *Computers & Geosciences*; **89**: 32-43.
- Trudel, P., et al, Q.D.g.d.l.e.g.e. 1992. Synthèse des caractéristiques géologiques des gisements d'or de la région de Cadillac (Abitibi). [Québec]: Gouvernement du Québec, Direction générale de l'exploration géologique et minérale.
- Winchester, J. A., et Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*; **20**: 325-343.
- Wong, L., Davis, D. W., Krogh, T. E., et Robert, F., 1991. U-Pb zircon and rutile chronology of Archean greenstone formation and gold mineralization in the Val-d'Or region, Quebec. *Earth and Planetary Science Letters*; **104** (2-4): 325-336.
- Wyman, D., 1999. A 2.7 Ga depleted tholeiite suite: evidence of plume-arc interaction in the Abitibi greenstone belt, Canada. *Precambrian Research*; **97** (1): 27-42.
- Wyman, D., et Kerrich, R., 1988. Alkaline magmatism, major structures, and gold deposits; implications for greenstone belt gold metallogeny. *Economic Geology*; **83** (2): 454-461.
- Wyman, D., et Kerrich, R., 1989. Archean lamprophyre dikes of the Superior Province, Canada: distribution, petrology, and geochemical characteristics. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*; **94** (B4): 4667-4696.
- Wyman, D., et Kerrich, R., 1993. Archean shoshonitic lamprophyres of the Abitibi Subprovince, Canada: petrogenesis, age, and tectonic setting. *Journal of Petrology*; **34** (6): 1067-1109.
- Wyman, D., Kerrich, R., et Sun, M., 1995. Noble metal abundances of late Archean (2.7 Ga) accretion-related shoshonitic lamprophyres, Superior Province, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; **59**(1) : 47-57.
- Wyman, D., Ayer, J. A., Conceição, R. V., & Sage, R. P. (2006). Mantle processes in an Archean orogen: evidence from 2.67 Ga diamond-bearing lamprophyres and xenoliths. *Lithos*, **89**(3), 300-328.

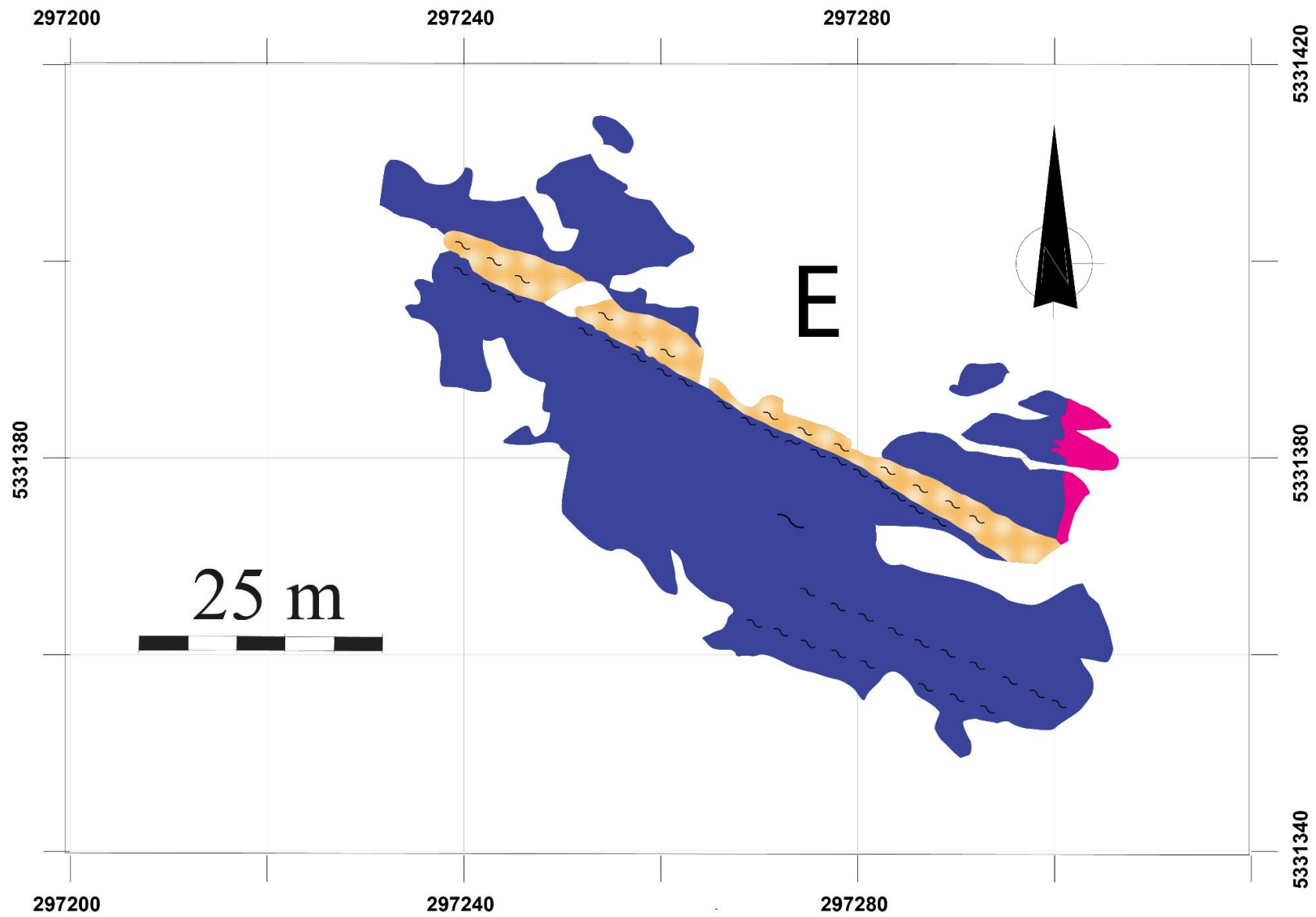
ANNEXES

Annexe 1 : Géologie des affleurements



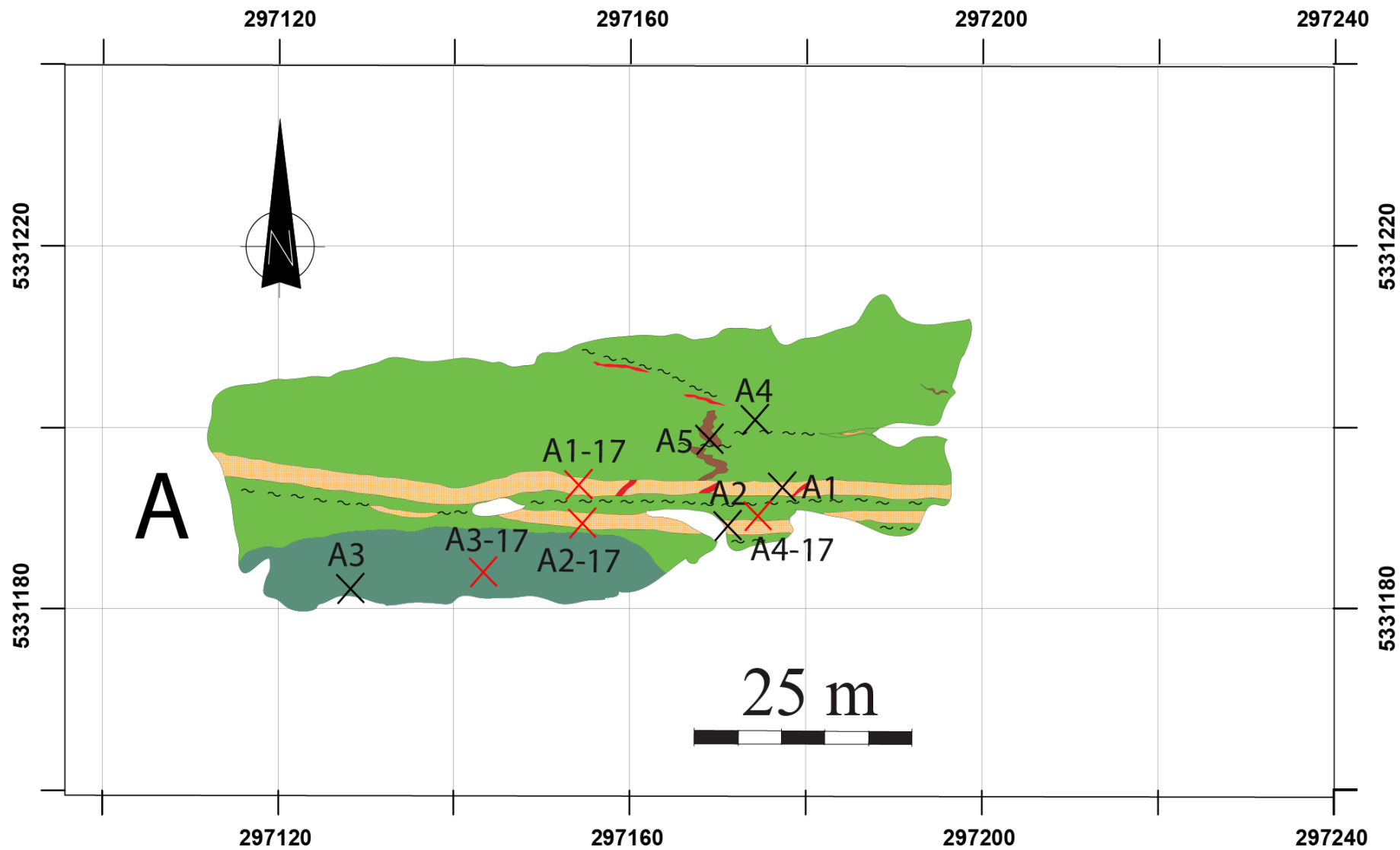


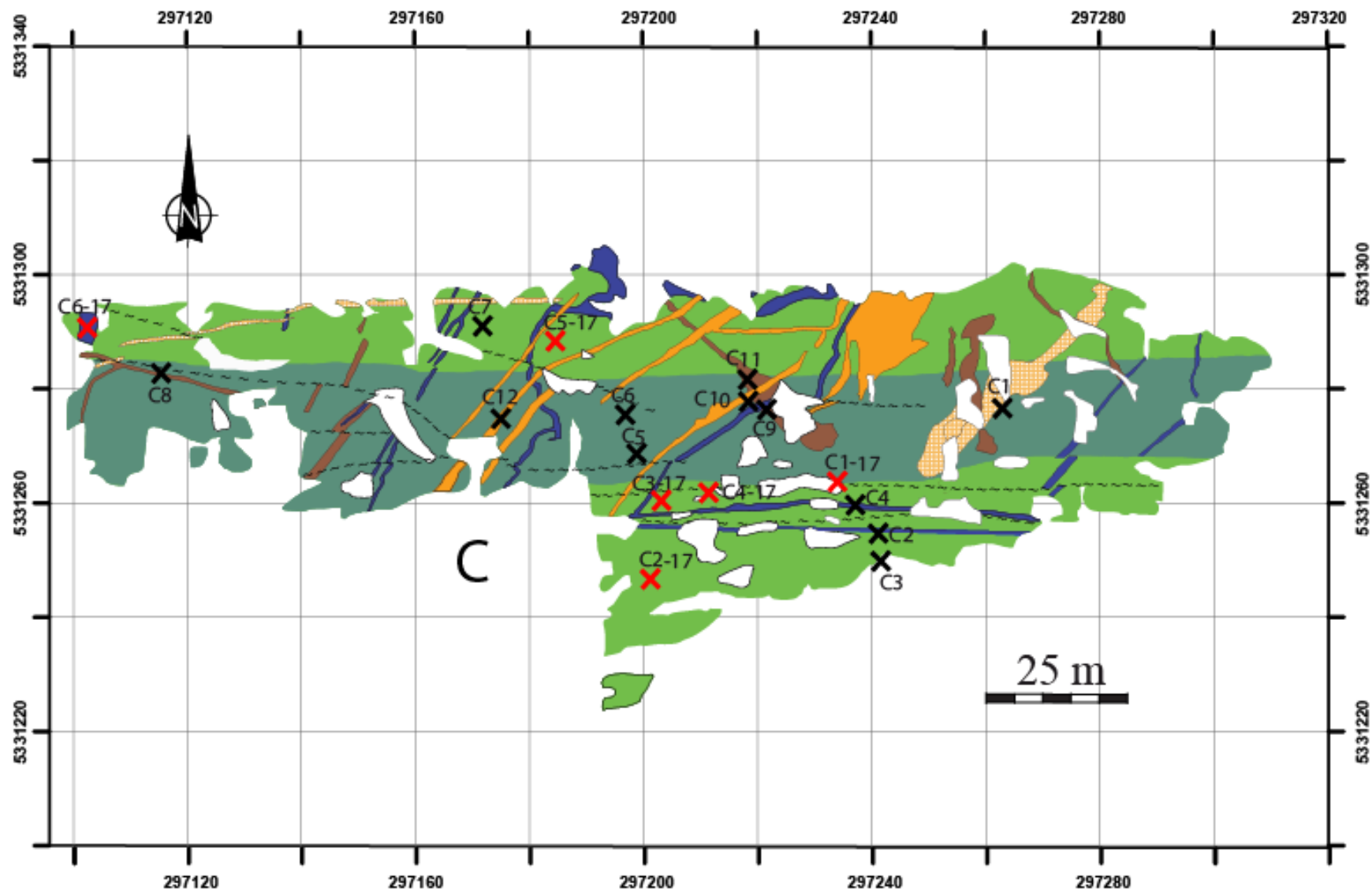


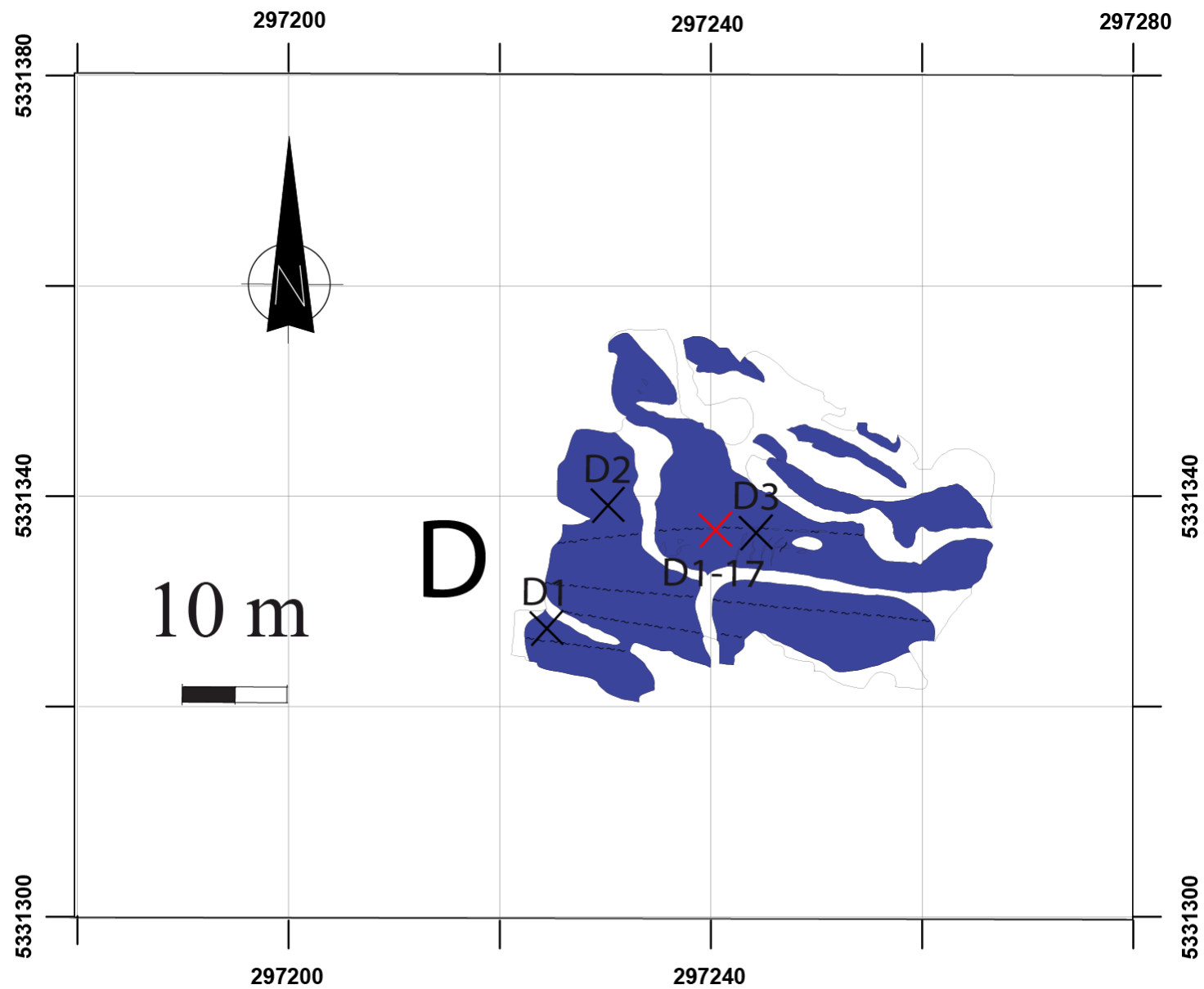


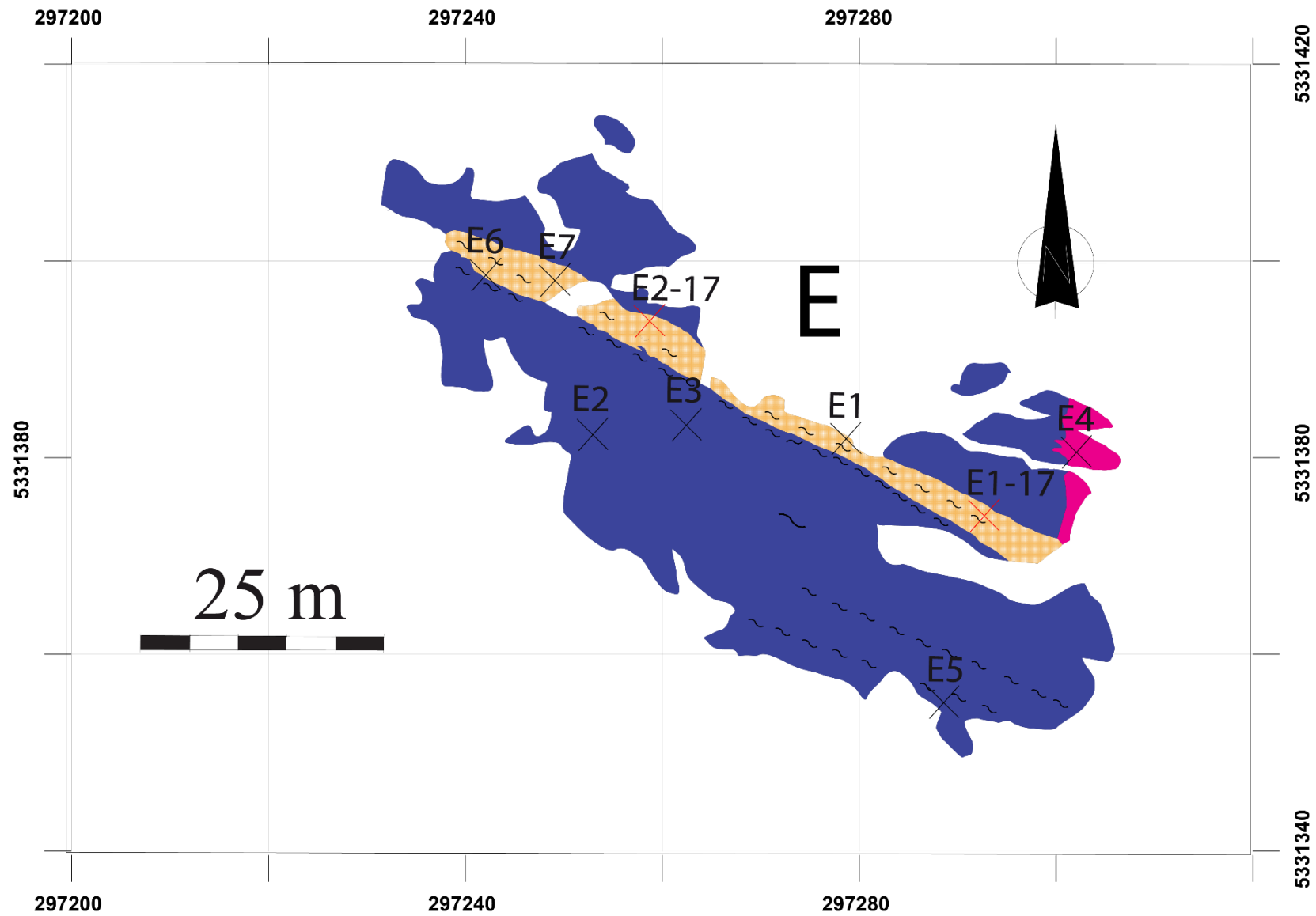
Annexe 2 : Localisation des échantillons

Échantillon	Est	Nordt		Échantillon	Est	Nordt
A1	297180	5331190		C4	297238	5331260
A2	297170	5331190		C5	297200	5331270
A3	297130	5331182		C6	297198	5331276
A4	297175	5331200		C7	297172	5331290
A5	297151	5331190		C8	297112	5331285
A1-2017	297158	5331195		C9	297220	5331274
A2-2017	297158	5331190		C10	297220	5331276
A3-2017	297150	5331185		C11	297220	5331282
A4-2017	297175	5331190		C12	297174	5331276
B1	297212	5331200		C1-2017	297230	5331270
B2	297250	5331185		C2-2017	297202	5331246
B3	297212	5331190		C3-2017	297202	5331260
B4	297228	5331180		C4-2017	297210	5331264
B5	297222	5331185		C5-2017	297182	5331290
B6	297232	5331175		C6-2017	297100	5331290
B7	297244	5331180		D1	297224	5331330
B8	297246	5331177		D2	297230	5331340
B9A	297244	5331175		D3	297244	5331338
B9B	297242	5331175		D1-2017	297242	5331338
B1-2017	297212	5331205		E1	297278	5331382
B2-2017	297230	5331180		E2	297254	5331382
B3-2017	297234	5331175		E3	297262	5331384
B4-2017	297246	5331175		E4	297302	5331380
B5-2017	297250	5331177		E5	297290	5331354
B6-2017	297252	5331182		E6	297240	5331400
C1	297262	5331276		E7	297250	5331400
C2	297240	5331255		E1-2017	297290	5331375
C3	297240	5331250		E2-2017	297258	5331392









Annexe 3 : Résumé des lames minces

Lame observée et lithologie	Minéralogie et particularité
A4 (Andésite)	-15% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. -20% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle faible. -Tr minéraux opaques. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle faible. -50% feldspaths. Hypidiomorphe à idiomorphe. Dmoy < mm. Altérés en séricite. -5% quartz. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas et en remplissage de veinules. -10% carbonate. Xénomorphe. Dmoy < mm. En amas. Associé avec le quartz.
C3 (Andésite)	-5% épidote. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. -15% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle. -40% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée. -1-2% minéraux opaques. Xénomorphe. Dmoy 1-2 mm à < mm. Direction préférentielle. -5% feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. -25% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas. -10% actinote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle.
C7 (Andésite)	-5% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. -20% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. -15% chlorite-biotite. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas de 2-3mm de diamètre. -40% actinote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. -20% hornblende verte. Hypidiomorphe. Dmoy 1mm à < mm. Présence d'une bordure de réaction à l'extérieur des cristaux. Altéré par la chlorite.
B9A (Andésite)	-15% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. -30% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle. -40% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée. -Tr minéraux opaques. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée. -15% quartz-feldspaths. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm à 1mm. Direction préférentielle. Cristaux hypidiomorphe en amas.
B9B (Andésite)	-25% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. -5% séricite. Hypidiomorphe à idiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle. -8% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée. -1% minéraux opaques. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy 1 mm. -50% feldspaths dont 10% de phénocristaux. Hypidiomorphe. Dmoy des phénocristaux 2-3mm à 1mm. Dmoy des autres cristaux <mm. -10% quartz. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas. -Tr carbonate. Xénomorphe. Dmoy < mm. Associé aux minéraux opaques.
A3 (Tuf)	Fragment (30%) -40% carbonates. Xénomorphe proche hypidiomorphe. Dmoy < mm. -Tr opaques. Xénomorphe. Dmoy < mm. -10% quartz. Hypidiomorphe (70%). Dmoy < mm en remplissage d'une veinule. Xénomorphe (30%). Dmoy < mm. -50% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Matrice (70%) -35% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée. -1% minéraux opaques. Xénomorphe. Dmoy < mm. Relation avec la chlorite-biotite, quartz et feldspaths.

	<p>-1% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Présence d'ombres de pression.</p> <p>-65% quartz-feldspaths. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p>
B6 (Tuf)	<p>Fragment 1 (10%)</p> <p>-5% chlorite-biotite. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-15% quartz-feldspaths. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-75-80% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Faible direction préférentielle.</p> <p>Fragment 2 (5-7%)</p> <p>-60% chlorite-biotite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-35% quartz-feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altération en séricite.</p> <p>-5% hornblende verte. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altéré en biotite.</p> <p>-1% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>Matrice (85%)</p> <p>-5% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle.</p> <p>-25% quartz-feldspaths. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle.</p> <p>-70% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Faible direction préférentielle.</p>
C5 (Tuf)	<p>Fragment (40%)</p> <p>-5% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-30% chlorite-biotite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée.</p> <p>-55% feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altérés en séricite.</p> <p>-5% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle.</p> <p>-5% actinote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle.</p> <p>Matrice (60%)</p> <p>-45% chlorite-biotite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-10% séricite. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-30% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-15% quartz-feldspaths. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. Le quartz est en amas.</p>
C6 (Tuf)	<p>Fragment 1 (15%)</p> <p>-Tr minéraux opaques. Idiomorphe. Dmoy < mm. Associés avec carbonate.</p> <p>-Tr carbonate. Xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-90% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1-2 mm.</p> <p>-10% quartz-feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>Fragment 2 (5%)</p> <p>-90% actinote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-10% chlorite-biotite. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-Tr quartz-feldspaths. Dmoy < mm.</p> <p>Fragment 3 (5%)</p> <p>-100% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-Tr séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>Matrice (75%)</p> <p>-60% chlorite-biotite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-35% quartz-feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altération en séricite.</p> <p>-5% hornblende verte. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altéré en biotite.</p> <p>-1% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p>
C8 (Tuf)	<p>-10% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>-15% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>-5% actinote. Hypidiomorphe à idiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle.</p> <p>-50% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée.</p>

	<p>-20% quartz-feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. Forme une matrice.</p> <p>-1% minéraux opaques. Xénomorphe. Dmoy < mm. Associés avec l'épidote et le quartz.</p>
A5 (Gabbro)	<p>-1% minéraux opaques. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy 2 mm à <mm.</p> <p>-40% chlorite-biotite. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle faible.</p> <p>-<1% quartz. Dmoy 1mm à <mm. Rare trace.</p> <p>-20% épidote. Hypidiomorphe à idiomorphe. Pas de direction préférentielle.</p> <p>-1% séricite. Idiomorphe. Dmoy <mm. Concentré dans les feldspaths.</p> <p>-2% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy de 1mm à <mm. Présent en amas mm.</p> <p>-35% actinote. Hypidiomorphe à idiomorphe. Direction préférentielle faible.</p>
C11 (Gabbro)	<p>-50% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-15% quartz. Dmoy 0,5mm à <mm.</p> <p>-15% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-Tr séricite. Hypidiomorphe. Dmoy <mm. Concentré dans les feldspaths.</p> <p>-20% feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy <mm.</p>
B1 (DFL1)	<p>-5-10% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1mm à <mm.</p> <p>-1% carbonate. Xénomorphe. Dmoy < mm. Associé avec le quartz.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 0,5 mm. Présence de rares angles de 120 degrés.</p> <p>-30% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. Altéré en séricite et épidote.</p> <p>-5-10% séricite. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-Tr opaques. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. Associé à chlorite-biotite.</p> <p>-15% chlorite-biotite. Idiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 0,5 mm à < mm. En amas.</p> <p>-25% hornblende verte. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Présence de cristaux hexagonaux. Altéré en séricite et épidote.</p> <p>-5% actinote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p>
B2 (DFL1)	<p>-5-10% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1mm à <mm.</p> <p>-Tr carbonate. Xénomorphe. Dmoy < mm. Associé avec le quartz et les feldspaths.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 0,5 mm. Présence en amas. Associé avec biotite-chlorite.</p> <p>-25-30% feldspaths. Xénomorphe. Dmoy < mm. Altéré en séricite et épidote.</p> <p>-Tr séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-Tr opaques. Xénomorphe. Dmoy < mm. Associé au quartz.</p> <p>-15-20% chlorite-biotite. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy = 0,5 à 1mm. Associé avec feldspaths et quartz.</p> <p>-50% amphiboles (hornblende verte et actinote). Hypidiomorphe. Dmoy = 2-3 mm à < mm. Altéré en chlorite-biotite.</p>
C2 (DFL1)	<p>-5 % minéraux opaques. Xénomorphe. Dmoy 1 mm et moins. Direction préférentielle faible. Associés avec épidote, carbonate, quartz et chlorite-biotite.</p> <p>-25% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altère les amphiboles et les feldspaths. Direction préférentielle faible.</p> <p>-10-15% hornblende verte. Hypidiomorphe. Dmoy phénocristaux 0,3 et 0,8 mm. Présence de faibles ombres de pression.</p> <p>-5-10% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>-<5% quartz. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas. Associé avec carbonate.</p>

	<p>-10% carbonate. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy de 2mm à < mm. Présent en amas. Faible direction préférentielle.</p> <p>-10% actinote. Hypidiomorphe à idiomorphe. Dmoy de 1mm à < mm. Faible direction préférentielle.</p> <p>-20% feldspaths. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altérés en séricite.</p>
C4 (DFL1)	<p>-5% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm à 1mm dans des veinules.</p> <p>-30% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>-Tr minéraux opaques. Xénomorphe. Dmoy < mm. Associés à épidote et chlorite-biotite.</p> <p>-1% carbonates. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm à 1mm dans la veinule.</p> <p>-10-12% feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy < mm rare 1 mm. Altérés en séricite.</p> <p>-20% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy de 1mm à < mm.</p> <p>-25% actinote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5-7% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p>
C9 (DFL1)	<p>-17% chlorite-biotite. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas. En amas.</p> <p>-10% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. Altéré en séricite et épidote.</p> <p>-15% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy de 2mm à < mm.</p> <p>-15% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-2-3% quartz. Xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-15% actinote. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-25% hornblende verte dont 5% de phénocristaux. Hypidiomorphe à idiomorphe. Dmoy des phénocristaux = 2 mm. Dmoy cristaux de la matrice < mm. Altéré en chlorite-biotite, quartz et feldspaths.</p>
D1 (DFL1)	<p>-25% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1mm à < mm. Altérés en séricite et épidote.</p> <p>-15-20% chlorite-biotite. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>-10% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-1-2% carbonate. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. Associé au quartz.</p> <p>-25% hornblende verte dont 5% de phénocristaux. Hypidiomorphe. Dmoy 1-2mm à < mm.</p> <p>-5-10% séricite. Hypidiomorphe à idiomorphe. Dmoy < mm.</p>
D3 (DFL1)	<p>-5-7% minéraux opaques. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy 1mm à < mm. Associés à la chlorite-biotite et au quartz.</p> <p>-30% feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy = 2mm à < mm. Altérés en séricite.</p> <p>-30-35% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée.</p> <p>-<5% épidote. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy = 1mm à < mm. Associé à chlorite-biotite. Faible direction préférentielle.</p> <p>-10% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm dans la matrice et Dmoy = 2mm à < mm dans les petites veines.</p> <p>-10% carbonate. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1,5mm à < mm.</p> <p>-<5% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altère les feldspaths.</p>
E2 (DFL1)	<p>-30% feldspaths. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy = 1mm à < mm. Altérés en séricite et épidote. Diamètre aussi gros que celui des amphiboles vertes.</p> <p>-7-9% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-10% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-10% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-Tr carbonate. Xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-<5% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altère les feldspaths.</p>

	<p>-35% amphibole verte (hornblende verte et actinote) dont 5% de phénocristaux. Hypidiomorphe. Dmoy 1-2mm pour les phénocristaux et <mm pour les cristaux de la matrice. Actinote altère les feldspaths. Hornblende verte altéré par chlorite-biotite/actinote/carbonate.</p> <p>-Tr minéraux opaques. Xénomorphe à hypidiomorphe. Associé à carbonate et quartz.</p>
E3 (DFL1)	<p>-40-45% feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altérés en séricite et épidote.</p> <p>-30% chlorite-biotite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas. Faible direction préférentielle.</p> <p>-5% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-10% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% carbonate. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. En amas. Associé avec quartz et chlorite-biotite.</p> <p>-Tr séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altère les feldspaths.</p>
B3 (DFL2)	<p>-<5% minéraux opaques. Idiomorphe à xénomorphe. Dmoy 1mm à moins. Associés à la chlorite-biotite.</p> <p>-15% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < 2mm. Altérés en séricite.</p> <p>-25% chlorite-biotite. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-<5% épidote. Xénomorphe. Dmoy 2mm et moins.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. En petits amas.</p> <p>-<5% carbonate. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy 2mm et moins. Associé au quartz.</p> <p>-35% hornblende verte dont 1% de phénocristaux. Hypidiomorphe. Dmoy 1mm et moins.</p>
B8 (DFL3)	<p>-5% feldspaths. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altérés en séricite.</p> <p>-15-20% chlorite-biotite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>-5-10% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle faible.</p> <p>-<5% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. En petits amas. Associé au carbonate.</p> <p>-1% carbonate. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Associé au quartz.</p> <p>-5% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-50% amphibole verte (hornblende verte et actinote) dont 2-3% de phénocristaux. Hypidiomorphe. Dmoy 5mm pour les phénocristaux et <mm pour les cristaux de la matrice. Légère direction préférentielle.</p>
A1 (PF2)	<p>-40-45% de feldspaths dont 10-15% de phénocristaux. Hypidomorphe à xénomorphe. Dmoy des phénocristaux de 2mm de diamètre. Altérés en séricite et épidote.</p> <p>-10-15% de Chlorite-Biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Minéral ayant subi la déformation.</p> <p>-5% de quartz. Hypidiomorphe. Dmoy mm à <mm. Associé généralement à la chlorite.</p> <p>-25% d'épidote. Hypidomorphe à xénomorphe. En amas.</p> <p>-15% séricite. Dmoy < mm. Altération des plagioclases et en association avec le quartz.</p>
A2 (PF1)	<p>-1-2% minéraux opaques. Xénomorphe. Dmoy <mm ou proche du mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-45% de chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy <mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-5% feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altérés en séricite et épidote. Présence de 15-20% d'anciens phénocristaux de Dmoy = 0,25-0,5 mm complètement altérés.</p> <p>-45% d'épidote. Hypidomorphe à xénomorphe. En amas.</p> <p>-<5% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Associé aux minéraux opaques.</p>

C1 (PF3)	<p>-20 % feldspaths. Hydiomorphe. 10-15% phénocristaux de Dmoy 2mm. Sinon Dmoy < mm. Certains cristaux ont bien enregistré la déformation. Altérés en séricite et épidote.</p> <p>-1-2% minéraux opaques. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy de 1mm à <mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-5-10% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-15% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Semble associée à la chlorite.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm sauf dans la veine ou Dmoy = 1mm.</p> <p>-45% épidote. Hypidomorphe à xénomorphe. En amas.</p>
E1 (PF4)	<p>-45% de feldspaths dont 10% de phénocristaux. Hypidomorphe à xénomorphe. Dmoy des phénocristaux de 3-4mm À 1mm de diamètre. Altérés en séricite, chlorite-biotite et épidote. Présence d'ombre de pression.</p> <p>-1-2% minéraux opaques. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy <mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-<5% carbonate. Hypidomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. Associé au quartz.</p> <p>-25% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-10% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle faible.</p> <p>-45% d'épidote. Idiomorphe à hypidomorphe. Présence d'ombre de pression.</p>
E6 (PF4)	<p>-15% de feldspaths. Hypidomorphe à xénomorphe. Dmoy de 1 mm. Altérés en séricite et épidote.</p> <p>-1-2% minéraux opaques. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy <mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-5% carbonate. Hypidomorphe. Dmoy 1mm à < mm. Associé au quartz.</p> <p>-25% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-5-10% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm sauf pour le quartz associé au carbonate Dmoy = 1mm..</p> <p>-20% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle faible. Présence de plissement.</p> <p>-<5% d'épidote. Idiomorphe. Dmoy < mm. Présence de faibles ombres de pression.</p>
E7 (PF4)	<p>-40% de feldspaths dont 1% de phénocristaux. Hypidomorphe. Dmoy de 2-3 mm à Dmoy < mm. Altérés en séricite et épidote.</p> <p>-1% minéraux opaques. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy <mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-5% carbonate. Hypidomorphe. Dmoy < mm. Associé au quartz.</p> <p>-15% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle forte.</p> <p>-10% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-20% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle faible.</p> <p>-<5% d'épidote. Idiomorphe à xénomorphe. Dmoy 1 mm à < mm. Présence de faibles ombres de pression.</p>
B5 (DPA)	<p>-55-65% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 2mm à < mm. Altérés en séricite.</p> <p>-<5% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. 2% en remplissage de petites veines. 98% dans toute la lame mine avec Dmoy < mm. Direction préférentielle faible.</p> <p>-10-15% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altère les feldspaths. Direction préférentielle.</p> <p>-10-15% chlorite-biotite. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. En amas. Direction préférentielle modérée.</p>
B7 (DPA)	<p>-Tr minéraux opaques. Hypidiomorphe. Dmoy = 0,5 mm et moins. Présents dans les amas de chlorite-biotite.</p>

	<p>-55% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1mm et moins. Altérés en séricite.</p> <p>-<5% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. 10% en remplissage de petites veines avec Dmoy = 0,5 mm. 90% dans toute la lame mine avec Dmoy < mm.</p> <p>-5% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altère les feldspaths et présent dans les veines de quartz.</p> <p>-10-15% chlorite-biotite. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>-<5% carbonate. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5-10% hornblende verte. Hypidiomorphe à proche idiomorphe. Dmoy 1-2mm à <mm. Présence de chlorite-biotite à l'intérieur et en bordure de la hornblende.</p>
C10 (DPA)	<p>-15% chlorite-biotite. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>-Tr carbonate. Xénomorphe. Dmoy < mm. Rare.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. En amas en association avec chlorite-biotite.</p> <p>-5% épidote. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. Associé au amas chlorite-biotite.</p> <p>-15% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-50% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1mm à < mm. Altérés par séricite et épidote.</p> <p>-10% actinote. Hypidiomorphe. Dmoy <mm. Retrouvé en amas. Associé à chlorite-biotite.</p> <p>-Tr hornblende verte. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Rare.</p>
C12 (DPA)	<p>-45% matrice quartzo-feldspathique. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% feldspaths. Hypidiomorphe à idiomorphe. Phénocristaux de Dmoy 1 mm. Altérés en séricite et épidote.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm (mais plus grossier que matrice). En amas.</p> <p>-25% chlorite-biotite. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 0,5mm à < mm. En amas.</p> <p>-10% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% épidote. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% hornblende verte. Hypidiomorphe à idiomorphe. Phénocristaux de Dmoy 1 à 2 mm. Altérés en chlorite-biotite.</p>
D2 (DPA)	<p>-35% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1-2mm à < mm. Altérés en séricite.</p> <p>-1-2% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1mm à < mm. Associé à la chlorite-biotite. Faible direction préférentielle.</p> <p>-15% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy = 1-2mm à < mm. En amas.</p> <p>-30% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Altère les feldspaths et faible direction préférentielle.</p> <p>-6-7% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. Direction préférentielle modérée.</p> <p>-5-10% carbonate. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy 1-2mm à < mm. En amas.</p>
E5 (DPA)	<p>-15-20% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy de 2mm et moins.</p> <p>-50% feldspaths. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy de 1mm et moins. Altérés en séricite.</p> <p>-<5% carbonate. Xénomorphe. Dmoy de 1mm et moins. En amas.</p> <p>-5% séricite. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy <mm.</p> <p>-10-15% chlorite-biotite. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-<5% épidote. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy de 1mm à moins.</p>
E4 (Brèche)	Fragment felsique (50%)

	<p>-20-25% feldspaths dont 10% de phénocristaux. Hypidiomorphe. Dmoy 2-3 mm pour les phénocristaux et aux alentours de 1 mm. Altérés en séricite et en chlorite-biotite.</p> <p>-35% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-<5% hornblende verte. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-5% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. En petits amas.</p> <p>-5% épidote. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-<5% minéraux opaques. Hypidiomorphe. Dmoy = 1 mm. Associés à la séricite et à la chlorite.</p> <p>-Tr carbonates. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm. En amas.</p> <p>Matrice (50%)</p> <p>-40% chlorite-biotite. Xénomorphe. Dmoy < mm. En amas. Associé au quartz.</p> <p>-5% quartz. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-<5% minéraux opaques. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Associé à la chlorite-biotite.</p> <p>-25% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-15% séricite. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. En amas. Altère lesfeldspaths.</p> <p>-5-10% feldspaths. Hypidiomorphe. Dmoy < mm.</p> <p>-Rares phénocristaux d'hornblende verte. Hypidiomorphe. Dmoy < 1 mm.</p>
B4 (Aplite)	<p>-10% épidote. Hypidiomorphe à xénomorphe. Dmoy <mm. Altère les feldspaths. 1% contenu dans une veine en association avec quartz et biotite-chlorite.</p> <p>-75% feldspaths. Xénomorphe à idiomorphe. Dmoy de 1mm à <mm.</p> <p>-<5% séricite. Idiomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. Hors des feldspaths, légère direction préférentielle.</p> <p>-5% chlorite-biotite. Xénomorphe à hypidiomorphe. Dmoy < mm. Présent en amas.</p> <p>-3-5% quartz. Hypidiomorphe. Dmoy < mm. Concentré dans la veine. Rare ailleurs.</p>

Annexe 4 : Résultats de la géochimie

Échantillon	Nom de roche	Est	Nordt	SiO2	Al2O3	Fe2O3T	FeOT	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Cr2O3	LOI	Total
A1	FP	297151	5331190	57,74	17,31	7,77	6,99	2,93	0,12	7,28	3,55	0,38	0,84	0,33	0,01	2,39	100,70
A2	FP	297151	5331190	52,94	17,85	9,28	8,35	4,65	0,14	8,71	1,88	0,20	1,01	0,13	0,01	3,29	100,10
A5	Gabbro	297151	5331190	51,20	18,22	9,56	8,60	6,78	0,16	7,22	0,99	0,56	0,61	0,07	0,01	4,50	99,88
C1	FP	297228	5331246	57,64	18,63	6,92	6,23	2,92	0,11	6,16	4,02	0,84	0,62	0,14	-0,01	2,59	100,60
C7	DFL	297228	5331246	48,63	12,64	8,76	7,88	13,27	0,25	9,59	1,56	1,20	0,81	0,41	0,13	3,23	100,30
C9	DFL	297228	5331246	48,95	14,12	10,37	9,33	9,23	0,23	8,96	2,39	0,78	0,81	0,38	0,07	2,89	99,11
C3	Andésite	297228	5331246	63,27	15,03	5,15	4,63	3,87	0,12	4,32	2,16	1,17	0,58	0,13	0,01	2,95	98,76
C11	Gabbro	297228	5331246	48,58	17,69	10,19	9,17	7,90	0,18	7,11	1,13	0,39	0,58	0,06	0,02	5,06	98,86
C2	DFL	297228	5331246	52,61	14,02	8,95	8,05	8,64	0,20	8,94	3,09	0,20	0,71	0,32	0,07	2,93	100,60
C10	DPA	297228	5331246	64,76	15,65	4,24	3,82	2,40	0,06	4,25	4,52	1,76	0,36	0,13	0,02	1,40	99,54
C12	DPA	297228	5331246	65,30	16,03	4,16	3,74	2,24	0,07	4,14	4,67	1,78	0,38	0,14	0,01	1,33	100,20
B1	DFL	297221	5331185	51,84	12,87	9,22	8,30	9,15	0,16	8,25	2,37	2,70	0,66	0,38	0,09	2,12	99,73
B2	DFL	297221	5331185	50,92	13,24	9,38	8,44	9,59	0,17	8,25	2,56	2,56	0,71	0,37	0,09	1,98	99,73
B8	DFL #3	297221	5331185	51,20	13,05	9,11	8,20	9,81	0,19	8,34	2,82	2,57	0,65	0,37	0,09	2,39	100,50
B3	DFL #2	297221	5331185	50,42	12,56	9,69	8,72	10,20	0,17	9,08	2,23	2,06	0,71	0,42	0,09	2,93	100,40
B6	Tuf	297221	5331185	56,88	16,28	7,00	6,30	5,05	0,09	5,27	4,26	1,86	0,87	0,22	0,02	2,12	99,92
B7	DPA	297221	5331185	59,42	14,98	6,43	5,79	4,98	0,11	5,80	4,26	2,21	0,51	0,29	0,04	1,71	100,70
B5	DPA	297221	5331185	65,36	15,85	4,25	3,82	2,30	0,06	3,93	4,81	2,03	0,44	0,15	0,01	1,28	100,50
B4	Aplite	297221	5331185	67,97	15,14	2,65	2,38	0,39	0,04	4,71	6,01	0,82	0,07	0,07	0,01	1,81	99,68
D1	DFL	297234	5331338	53,73	13,71	8,30	7,47	7,37	0,15	7,73	3,37	2,20	0,66	0,38	0,06	2,66	100,30
D2	DPA	297234	5331338	59,86	15,72	4,36	3,92	2,80	0,08	5,53	4,25	2,37	0,46	0,25	0,01	3,33	99,01
E2	DFL	297272	5331379	57,13	14,80	7,30	6,57	6,08	0,13	6,10	3,03	2,83	0,60	0,34	0,05	2,12	100,40
E3	DFL	297272	5331379	57,31	14,16	6,41	5,77	5,07	0,11	5,07	3,78	2,33	0,51	0,29	0,04	4,48	99,51
E1	FP	297272	5331379	62,80	15,41	4,03	3,63	2,57	0,06	3,30	4,56	2,56	0,47	0,23	0,01	3,19	99,15
E5	DPA	297272	5331379	69,48	14,80	2,70	2,43	1,24	0,04	3,20	4,40	1,98	0,27	0,10	0,01	1,80	100,00

Échantillon	Sr	Ba	Nb	V	Co	Ga	Ge	In	Sn	Cs	Pb	Be
A1	347,00	175,00	10,20	123,00	18,00	23,00	1,60	-0,10	-1,00	0,20	-3,00	-1,00
A2	290,00	75,00	3,60	216,00	25,00	18,00	1,20	-0,10	-1,00	0,20	-3,00	-1,00
A5	234,00	209,00	1,90	201,00	34,00	14,00	1,10	-0,10	-1,00	0,40	-3,00	-1,00
C1	363,00	433,00	3,00	93,00	13,00	19,00	1,20	-0,10	-1,00	0,30	-3,00	-1,00
C7	130,00	658,00	3,40	175,00	55,00	12,00	1,30	-0,10	-1,00	0,40	-3,00	2,00
C9	343,00	283,00	4,60	195,00	42,00	15,00	1,40	-0,10	-1,00	0,50	-3,00	1,00
C3	118,00	205,00	2,60	116,00	23,00	11,00	0,90	-0,10	-1,00	0,70	-3,00	-1,00
C11	224,00	142,00	1,70	200,00	43,00	11,00	1,40	-0,10	-1,00	0,40	-3,00	-1,00
C2	298,00	47,00	3,40	190,00	34,00	15,00	1,50	-0,10	-1,00	0,10	-3,00	2,00
C10	416,00	575,00	5,50	62,00	12,00	16,00	1,00	-0,10	-1,00	2,90	6,00	2,00
C12	456,00	639,00	4,90	63,00	11,00	17,00	1,10	-0,10	-1,00	2,40	5,00	2,00
B1	605,00	754,00	3,90	174,00	38,00	15,00	1,40	-0,10	1,00	6,50	-3,00	2,00
B2	542,00	741,00	3,90	173,00	39,00	15,00	1,40	-0,10	-1,00	4,20	-3,00	2,00
B8	519,00	958,00	3,70	169,00	40,00	15,00	1,40	-0,10	-1,00	3,00	-3,00	2,00
B3	498,00	837,00	3,70	185,00	37,00	14,00	1,40	-0,10	-1,00	4,80	-3,00	2,00
B6	729,00	796,00	5,20	190,00	23,00	16,00	1,00	-0,10	-1,00	2,60	-3,00	1,00
B7	608,00	690,00	5,00	114,00	21,00	15,00	1,20	-0,10	-1,00	2,40	5,00	2,00
B5	632,00	770,00	4,30	70,00	11,00	18,00	1,00	-0,10	-1,00	2,70	7,00	2,00
B4	753,00	735,00	3,30	27,00	2,00	15,00	0,90	-0,10	-1,00	0,40	8,00	3,00
D1	680,00	943,00	4,90	154,00	34,00	17,00	1,50	-0,10	-1,00	1,70	10,00	2,00
D2	713,00	2076,00	3,50	81,00	12,00	17,00	1,10	-0,10	-1,00	1,20	8,00	2,00
E2	569,00	1308,00	5,30	131,00	27,00	17,00	1,30	-0,10	-1,00	1,60	10,00	2,00
E3	595,00	682,00	4,80	112,00	23,00	16,00	1,30	-0,10	-1,00	2,60	8,00	2,00
E1	340,00	1266,00	3,70	77,00	12,00	20,00	1,10	-0,10	-1,00	1,00	8,00	2,00
E5	451,00	1830,00	2,70	40,00	6,00	15,00	0,80	-0,10	-1,00	0,50	8,00	1,00

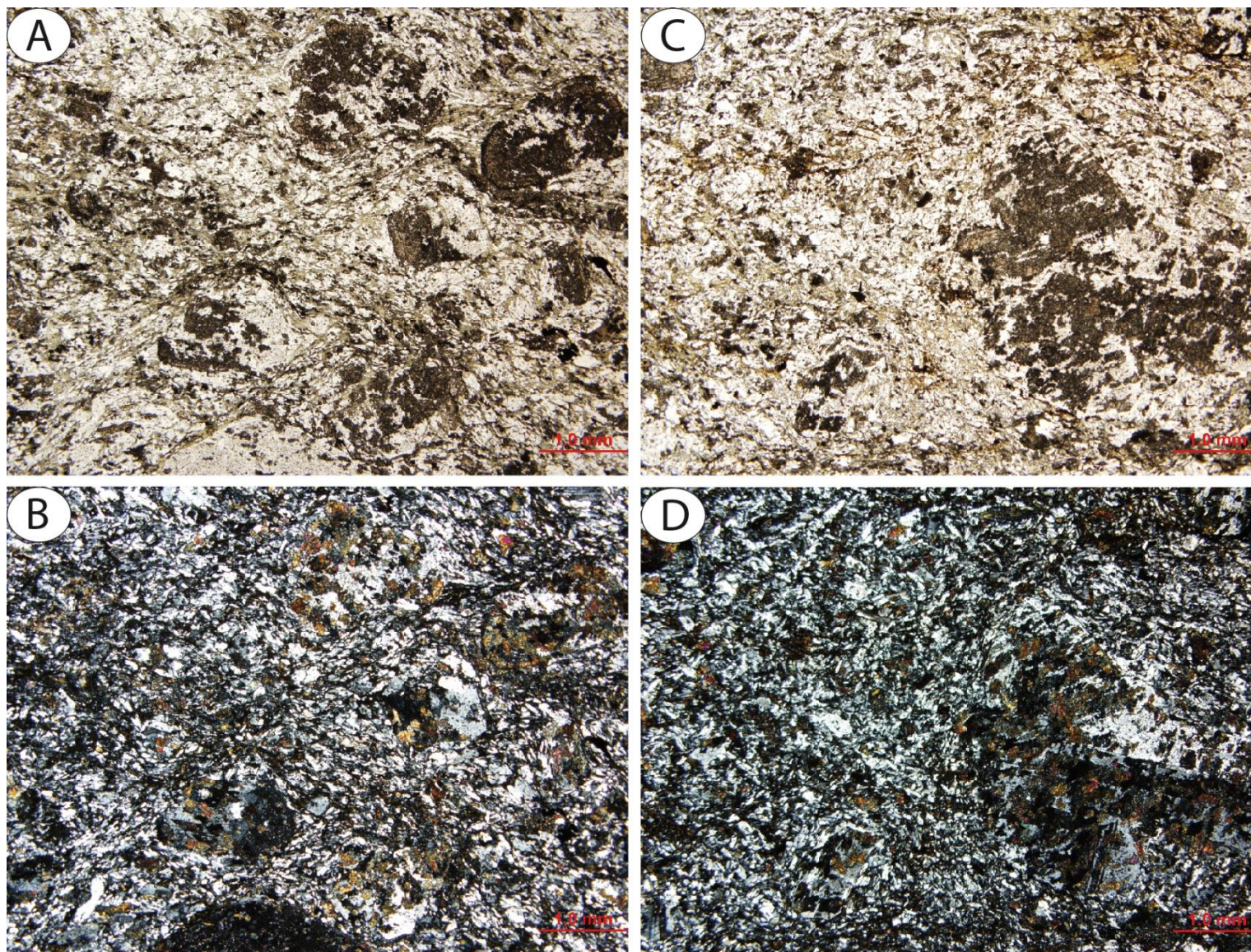
Échantillon	Hf	Ta	W	Ti	Bi	Th	U	Rb	Y	Zr	Zr/Y	Nb/Y	Zr/TiO2
A1	3,10	0,70	0,50	-0,05	-0,10	2,35	0,59	12,00	19,50	136,00	6,97	0,52	0,02
A2	2,30	0,23	-0,50	-0,05	-0,10	0,67	0,19	7,00	28,50	99,00	3,47	0,13	0,01
A5	1,10	0,13	0,60	-0,05	-0,10	0,26	0,06	21,00	21,70	47,00	2,17	0,09	0,01
C1	2,20	0,22	-0,50	-0,05	-0,10	0,74	0,23	22,00	19,10	94,00	4,92	0,16	0,02
C7	2,10	0,28	0,70	-0,05	-0,10	2,78	0,64	31,00	19,40	90,00	4,64	0,18	0,01
C9	2,30	0,35	-0,50	-0,05	-0,10	3,62	0,60	23,00	20,00	104,00	5,20	0,23	0,01
C3	1,70	0,24	0,60	0,10	-0,10	1,21	0,29	42,00	13,90	70,00	5,04	0,19	0,01
C11	1,10	0,12	-0,50	-0,05	-0,10	0,28	0,09	13,00	21,60	43,00	1,99	0,08	0,01
C2	2,30	0,21	-0,50	-0,05	-0,10	2,94	0,78	3,00	18,90	85,00	4,50	0,18	0,01
C10	3,00	0,58	1,20	0,33	-0,10	4,63	1,19	63,00	12,10	113,00	9,34	0,45	0,03
C12	2,90	0,55	0,70	0,27	-0,10	4,36	1,23	68,00	11,70	114,00	9,74	0,42	0,03
B1	2,80	0,28	-0,50	0,33	-0,10	3,02	0,77	109,00	17,40	96,00	5,52	0,22	0,01
B2	2,10	0,32	-0,50	0,38	-0,10	3,06	0,66	103,00	19,00	93,00	4,89	0,21	0,01
B8	1,90	0,23	-0,50	0,30	-0,10	2,96	0,49	90,00	16,90	85,00	5,03	0,22	0,01
B3	2,10	0,23	4,50	0,32	-0,10	2,47	0,73	81,00	17,30	83,00	4,80	0,21	0,01
B6	2,60	0,34	-0,50	0,27	-0,10	1,77	0,44	73,00	20,90	106,00	5,07	0,25	0,01
B7	2,80	0,39	-0,50	0,27	-0,10	3,79	1,02	74,00	15,30	114,00	7,45	0,33	0,02
B5	2,80	0,35	-0,50	0,21	-0,10	3,62	1,04	67,00	10,50	110,00	10,48	0,41	0,03
B4	3,70	0,38	0,60	0,05	-0,10	9,81	2,35	18,00	8,30	180,00	21,69	0,40	0,26
D1	2,40	0,34	0,60	0,29	-0,10	4,18	0,92	65,00	19,50	103,00	5,28	0,25	0,02
D2	2,30	0,30	1,40	0,25	-0,10	2,99	0,72	64,00	10,50	95,00	9,05	0,33	0,02
E2	2,50	0,43	-0,50	0,36	-0,10	4,66	1,02	89,00	18,30	122,00	6,67	0,29	0,02
E3	2,60	0,40	-0,50	0,35	-0,10	4,73	0,83	83,00	16,00	120,00	7,50	0,30	0,02
E1	2,80	0,26	3,30	0,28	0,10	4,57	1,39	74,00	11,00	125,00	11,36	0,34	0,03
E5	2,40	0,43	0,60	0,12	-0,10	4,19	1,13	36,00	7,00	95,00	13,57	0,39	0,03

Échantillon	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
A1	18,00	38,00	4,52	18,80	4,13	1,34	3,97	0,60	3,50	0,70	1,92
A2	6,52	17,10	2,42	11,30	3,41	1,09	4,18	0,71	4,64	1,00	2,98
A5	3,15	7,91	1,17	5,68	1,77	0,64	2,44	0,45	3,13	0,77	2,52
C1	6,50	16,40	2,33	10,30	2,84	0,90	3,05	0,49	3,09	0,67	2,00
C7	18,60	42,20	5,44	23,70	5,23	1,42	4,67	0,64	3,56	0,70	1,95
C9	24,90	54,80	6,77	28,50	5,94	1,59	5,18	0,69	3,66	0,71	2,02
C3	9,27	22,30	3,00	13,50	3,15	0,82	2,84	0,40	2,36	0,47	1,53
C11	5,26	10,30	1,40	6,45	1,97	0,55	2,37	0,43	3,14	0,74	2,38
C2	25,00	53,60	6,93	29,70	6,47	1,70	5,10	0,68	3,61	0,65	1,88
C10	22,40	42,20	4,57	16,80	3,10	0,83	2,37	0,37	2,11	0,39	1,19
C12	22,30	42,10	4,70	17,20	3,17	0,86	2,55	0,34	2,07	0,39	1,12
B1	20,60	44,40	5,52	22,60	4,96	1,35	4,28	0,58	3,12	0,59	1,73
B2	20,50	45,30	5,70	23,40	5,18	1,36	4,38	0,59	3,40	0,66	1,92
B8	19,90	43,10	5,35	22,10	4,87	1,27	3,97	0,55	3,07	0,56	1,59
B3	19,10	42,60	5,35	22,30	4,91	1,33	4,37	0,61	3,31	0,65	1,80
B6	15,00	35,70	4,76	21,90	4,90	1,26	4,69	0,68	3,87	0,76	2,16
B7	21,60	44,10	5,05	20,20	3,88	1,10	3,34	0,46	2,79	0,55	1,62
B5	21,30	43,10	4,94	18,80	3,65	0,99	2,69	0,36	1,95	0,35	1,00
B4	42,70	73,60	6,64	19,70	2,63	0,71	1,63	0,22	1,26	0,24	0,84
D1	28,70	62,10	7,49	30,10	6,16	1,55	4,91	0,66	3,54	0,67	1,91
D2	19,80	41,90	4,98	20,10	3,92	1,05	2,90	0,39	2,13	0,40	1,10
E2	30,60	64,30	7,57	29,20	5,71	1,47	4,71	0,63	3,33	0,62	1,78
E3	29,10	59,50	6,80	26,50	5,18	1,32	4,07	0,57	3,15	0,57	1,65
E1	29,30	62,10	7,32	28,30	5,16	1,29	3,54	0,44	2,14	0,37	1,04
E5	19,80	37,20	3,84	13,60	2,37	0,63	1,76	0,23	1,19	0,23	0,69

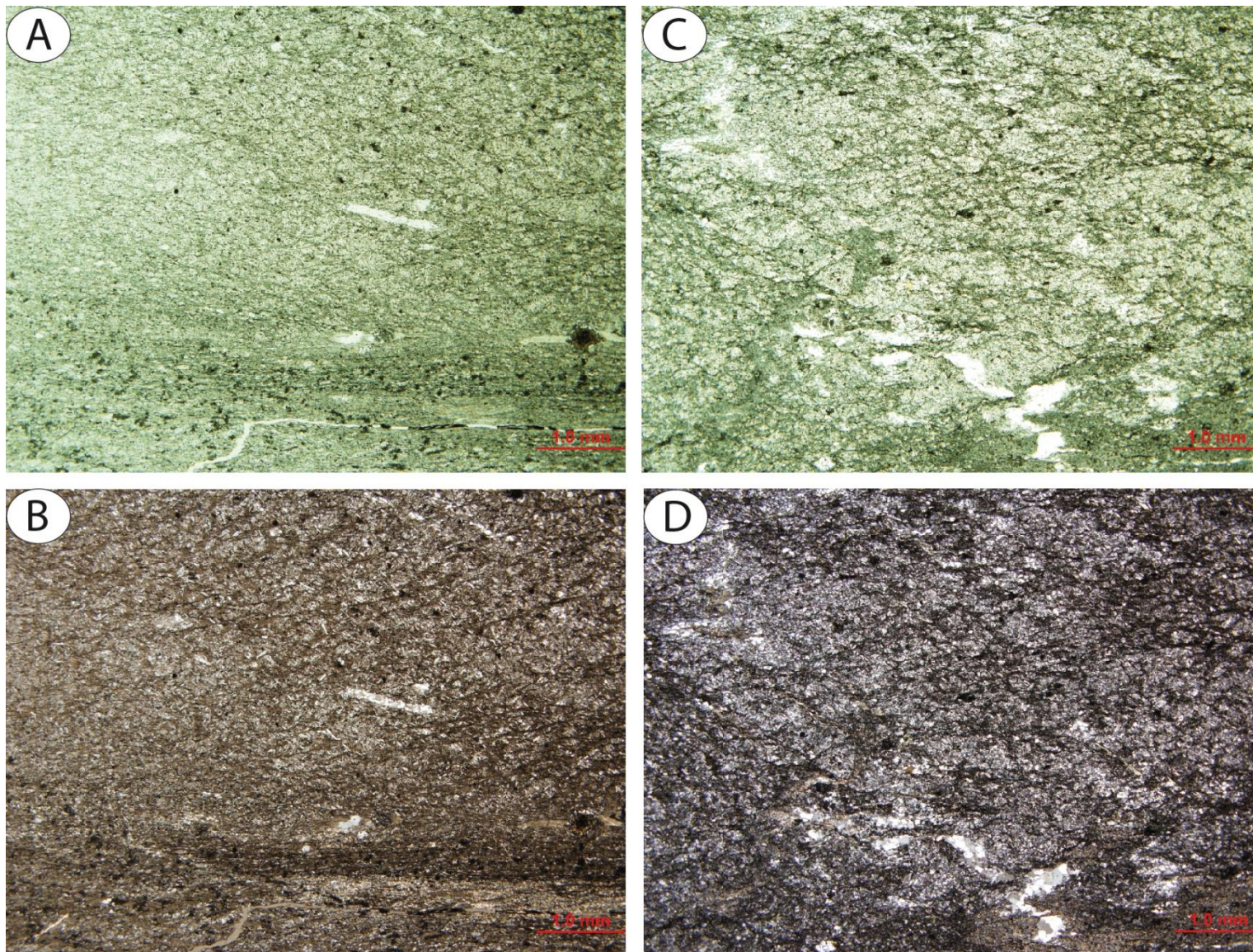
Échantillon	Tm	Yb	Lu	Cd	Cu	Ag	Ni	Mo	Zn	S_PPM
A1	0,28	1,82	0,28	-0,50	26,00	-0,30	19,00	-1,00	52,00	2500,00
A2	0,46	3,24	0,51	-0,50	55,00	-0,30	24,00	-1,00	72,00	2600,00
A5	0,43	3,22	0,56	-0,50	131,00	-0,30	39,00	-1,00	80,00	2200,00
C1	0,33	2,36	0,38	-0,50	23,00	-0,30	9,00	-1,00	48,00	1100,00
C7	0,29	1,87	0,29	-0,50	4,00	-0,30	354,00	-1,00	109,00	-100,00
C9	0,30	1,95	0,31	-0,50	7,00	-0,30	133,00	-1,00	69,00	-100,00
C3	0,26	1,77	0,31	-0,50	198,00	-0,30	52,00	-1,00	62,00	3500,00
C11	0,40	3,08	0,50	-0,50	55,00	-0,30	70,00	-1,00	52,00	-100,00
C2	0,25	1,73	0,27	-0,50	96,00	-0,30	102,00	-1,00	74,00	2700,00
C10	0,17	1,23	0,21	-0,50	5,00	-0,30	38,00	-1,00	34,00	-100,00
C12	0,18	1,16	0,20	-0,50	15,00	-0,30	35,00	-1,00	52,00	-100,00
B1	0,25	1,60	0,27	-0,50	11,00	-0,30	168,00	-1,00	80,00	-100,00
B2	0,27	1,95	0,29	-0,50	12,00	-0,30	175,00	-1,00	81,00	-100,00
B8	0,25	1,72	0,26	-0,50	6,00	-0,30	178,00	-1,00	84,00	-100,00
B3	0,26	1,65	0,25	-0,50	29,00	-0,30	187,00	-1,00	92,00	600,00
B6	0,34	2,44	0,39	-0,50	12,00	-0,30	72,00	-1,00	59,00	200,00
B7	0,24	1,64	0,26	-0,50	21,00	-0,30	86,00	-1,00	52,00	100,00
B5	0,15	0,93	0,16	-0,50	23,00	-0,30	32,00	-1,00	55,00	200,00
B4	0,14	1,13	0,20	-0,50	32,00	0,40	6,00	2,00	9,00	100,00
D1	0,28	1,86	0,29	-0,50	21,00	-0,30	110,00	-1,00	69,00	-100,00
D2	0,16	1,00	0,16	-0,50	17,00	-0,30	34,00	-1,00	35,00	-100,00
E2	0,26	1,73	0,28	-0,50	34,00	-0,30	91,00	-1,00	67,00	-100,00
E3	0,25	1,60	0,25	-0,50	4,00	-0,30	78,00	-1,00	62,00	-100,00
E1	0,15	1,04	0,16	-0,50	12,00	-0,30	31,00	-1,00	54,00	3700,00
E5	0,10	0,69	0,12	-0,50	15,00	-0,30	18,00	-1,00	20,00	-100,00

Échantillon	Au	As	Br	Cr	Fe	Ir	Na	Sc	Sb	Se	Mass	Mo
A1	-2,00	4,10	-0,50	16,00	5,11	-5,00	2,65	12,90	0,30	-3,00	30,90	-2,00
A2	-2,00	1,10	-0,50	42,00	6,24	-5,00	1,40	29,00	-0,10	-3,00	29,60	-2,00
A5	-2,00	-0,50	-0,50	81,00	6,53	-5,00	0,78	47,20	0,50	-3,00	30,90	-2,00
C1	9,00	1,80	-0,50	12,00	4,89	-5,00	3,12	11,00	0,30	-3,00	30,10	-2,00
C7	-2,00	2,60	-0,50	667,00	5,83	-5,00	1,16	24,70	-0,10	-3,00	33,90	-2,00
C9	-2,00	7,00	-0,50	414,00	7,31	-5,00	1,87	25,80	-0,10	-3,00	32,80	-2,00
C3	-2,00	-0,50	-0,50	52,00	3,64	-5,00	1,73	23,10	-0,10	-3,00	28,00	-2,00
C11	-2,00	-0,50	-0,50	72,00	6,51	-5,00	0,83	42,00	0,40	-3,00	29,70	-2,00
C2	-2,00	-0,50	-0,50	349,00	6,15	-5,00	2,35	29,30	-0,10	-3,00	32,60	-2,00
C10	-2,00	-0,50	-0,50	94,00	3,07	-5,00	3,72	8,30	-0,10	-3,00	31,80	-2,00
C12	-2,00	0,90	-0,50	60,00	2,91	-5,00	3,58	7,40	0,60	-3,00	30,30	-2,00
B1	23,00	-0,50	-0,50	459,00	6,59	-5,00	1,89	24,00	-0,10	-3,00	31,20	-2,00
B2	-2,00	-0,50	-0,50	465,00	6,47	-5,00	1,93	24,30	-0,10	-3,00	29,30	-2,00
B8	-2,00	1,50	-0,50	604,00	6,44	-5,00	2,33	26,50	-0,10	-3,00	31,60	-2,00
B3	2,00	4,00	-0,50	484,00	6,50	-5,00	1,67	25,10	-0,10	-3,00	30,40	-2,00
B6	-2,00	1,90	-0,50	105,00	5,09	-5,00	3,30	28,70	-0,10	-3,00	30,70	-2,00
B7	-2,00	-0,50	-0,50	198,00	4,43	-5,00	3,08	14,00	-0,10	-3,00	28,90	-2,00
B5	-2,00	1,70	-0,50	59,00	3,03	-5,00	3,74	7,60	-0,10	-3,00	31,20	-2,00
B4	5,00	2,30	-0,50	38,00	1,70	-5,00	4,48	1,30	0,40	-3,00	29,60	-2,00
D1	-2,00	1,70	-0,50	368,00	5,87	-5,00	2,75	21,80	-0,10	-3,00	33,10	-2,00
D2	-2,00	2,40	-0,50	67,00	3,04	-5,00	3,14	8,70	-0,10	-3,00	29,10	-2,00
E2	-2,00	-0,50	-0,50	290,00	5,17	-5,00	2,47	18,30	-0,10	-3,00	31,10	-2,00
E3	-2,00	-0,50	-0,50	242,00	4,26	-5,00	2,99	15,10	0,20	-3,00	28,80	-2,00
E1	154,00	4,80	-0,50	64,00	2,90	-5,00	3,72	8,90	-0,10	-3,00	27,50	-2,00
E5	-2,00	2,50	-0,50	37,00	1,87	-5,00	3,30	3,80	-0,10	-3,00	31,20	-2,00

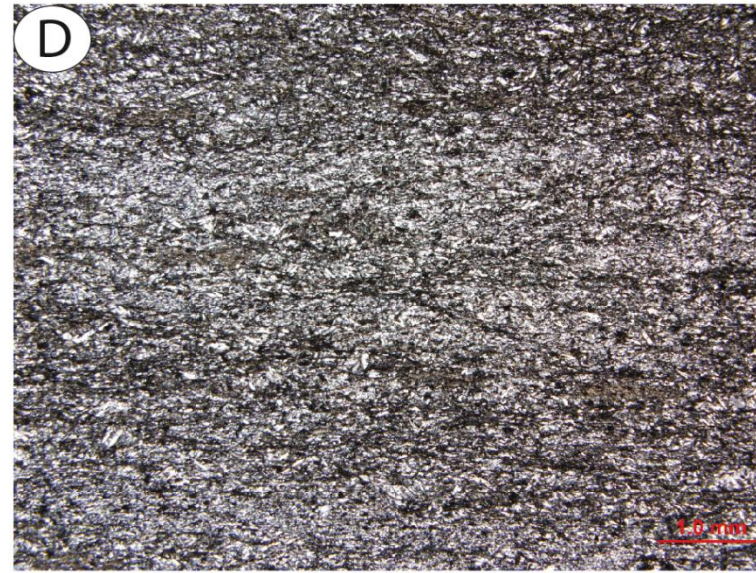
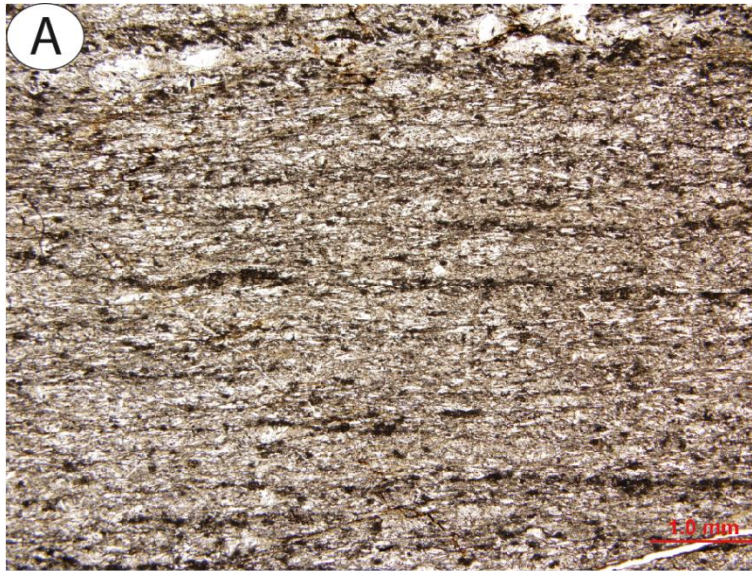
Annexe 5 : Géologie structurale (tableau, carte et planches)



Annexe 5.1 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon A1-17 (Dyke FP).



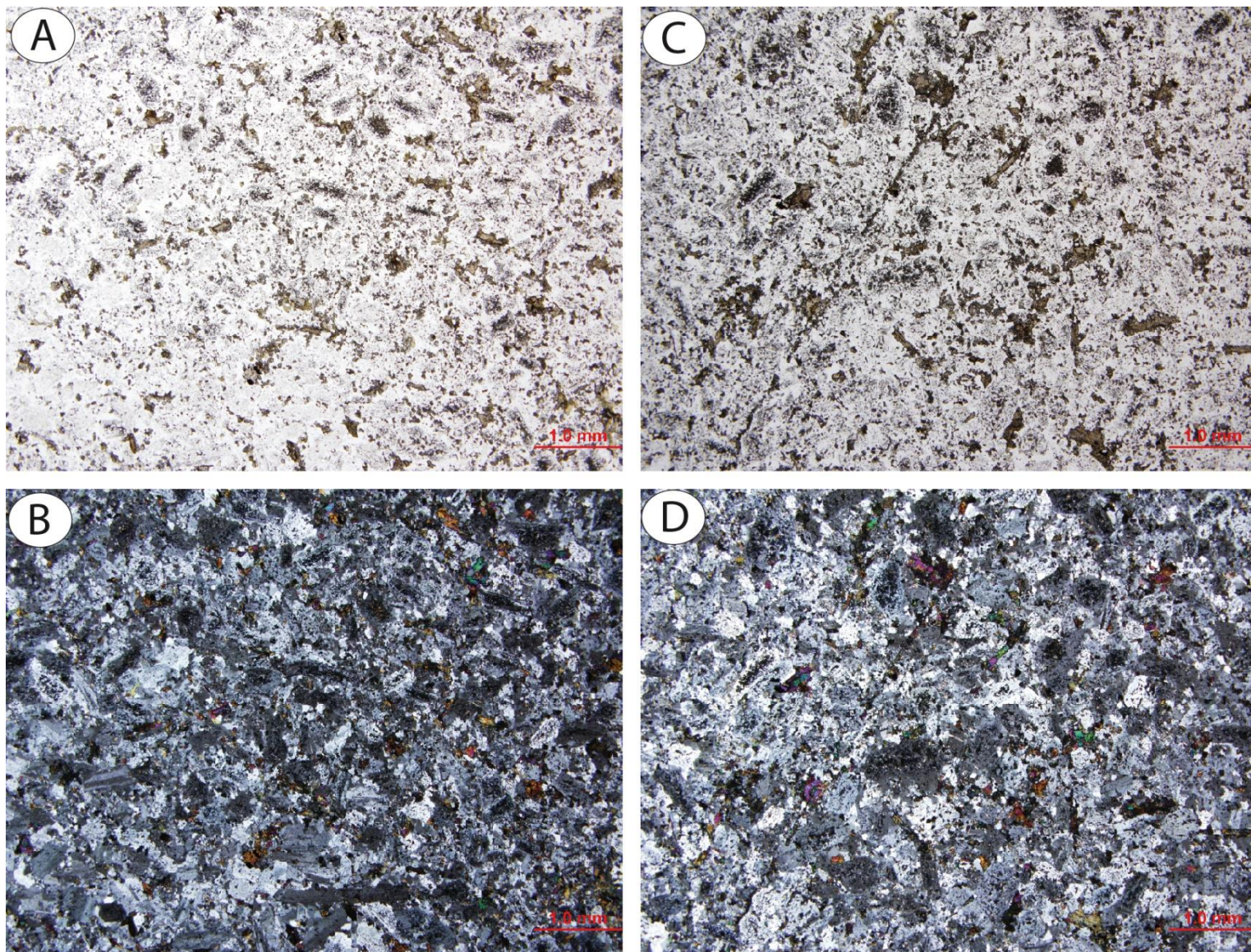
Annexe 5.2 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon A3-17 (Tuf andésitique).



Annexe 5.3 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon A4-17 (Andésite coussinée cisailée).



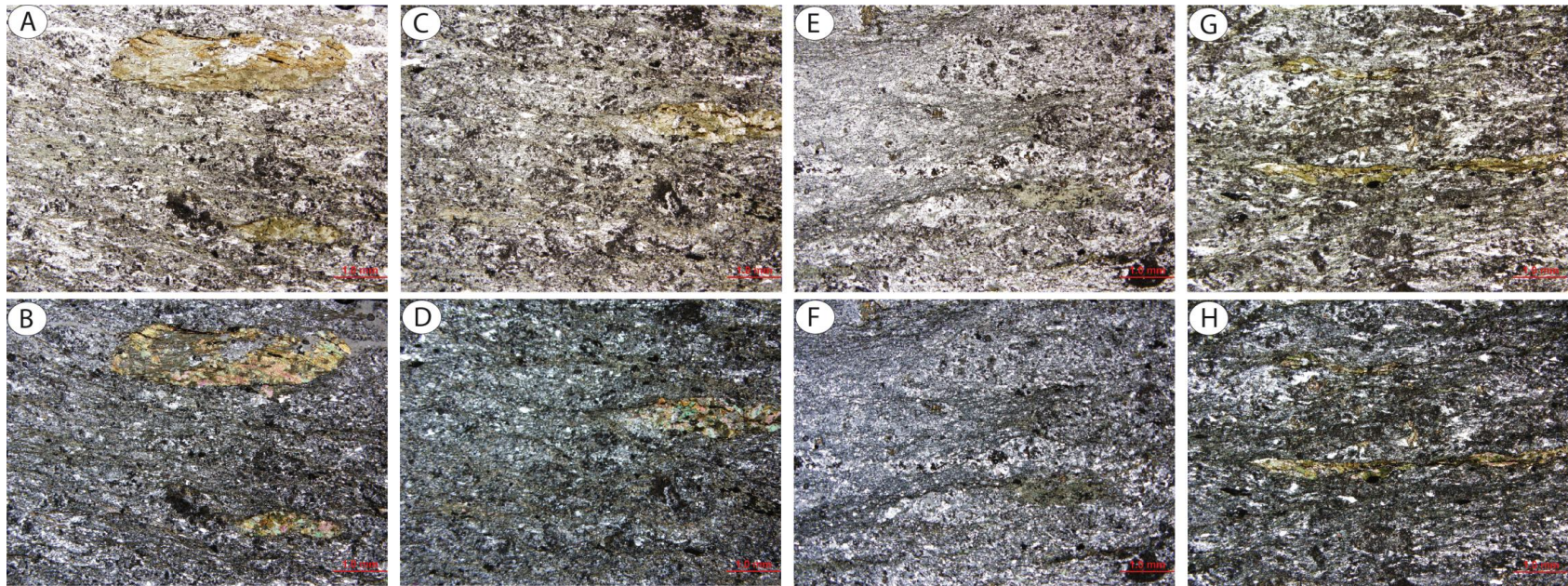
Annexe 5.4 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B1-17 (DFL).



Annexe 5.5 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B2-17 (Aplite).



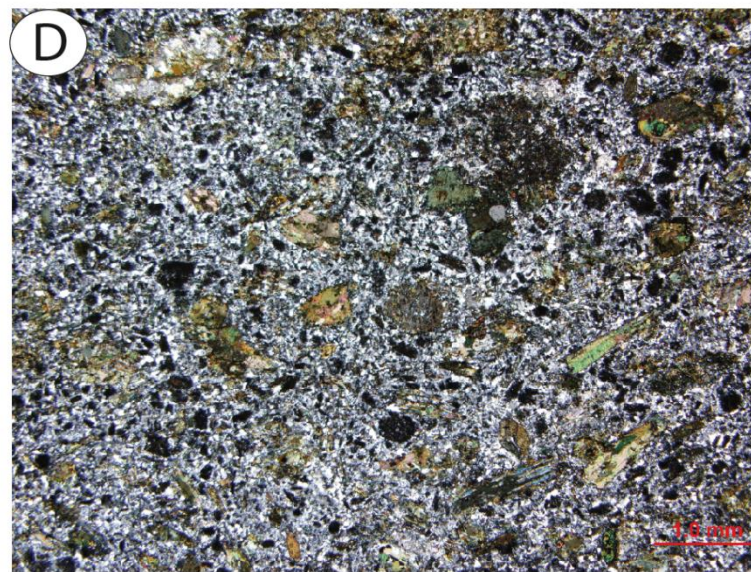
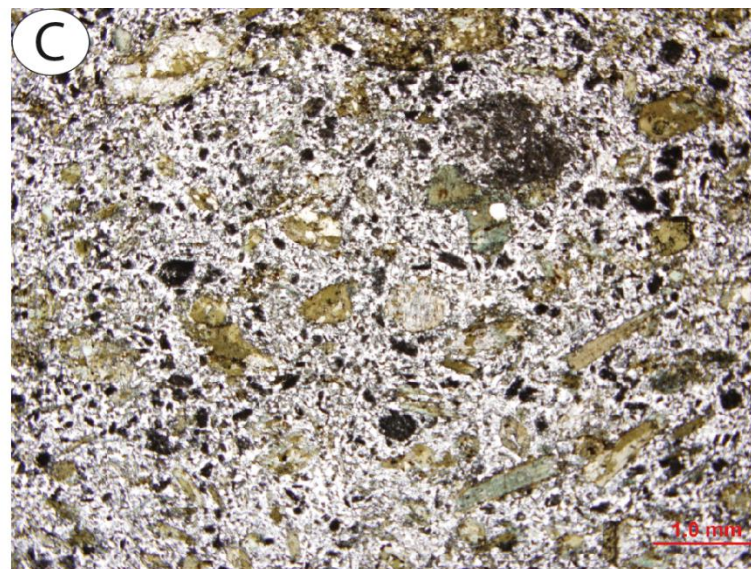
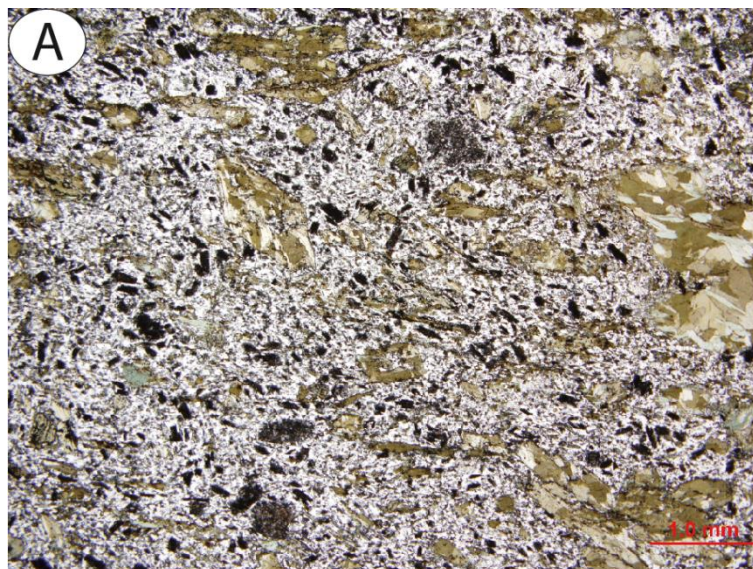
Annexe 5.6 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B3-17 (Tuf andésitique).



Annexe 5.7 : Comparaison des lames A (A et B), B (C et D), C (E et F) et D (G et H) pour l'échantillon B4-17 (Andésite cisillée).



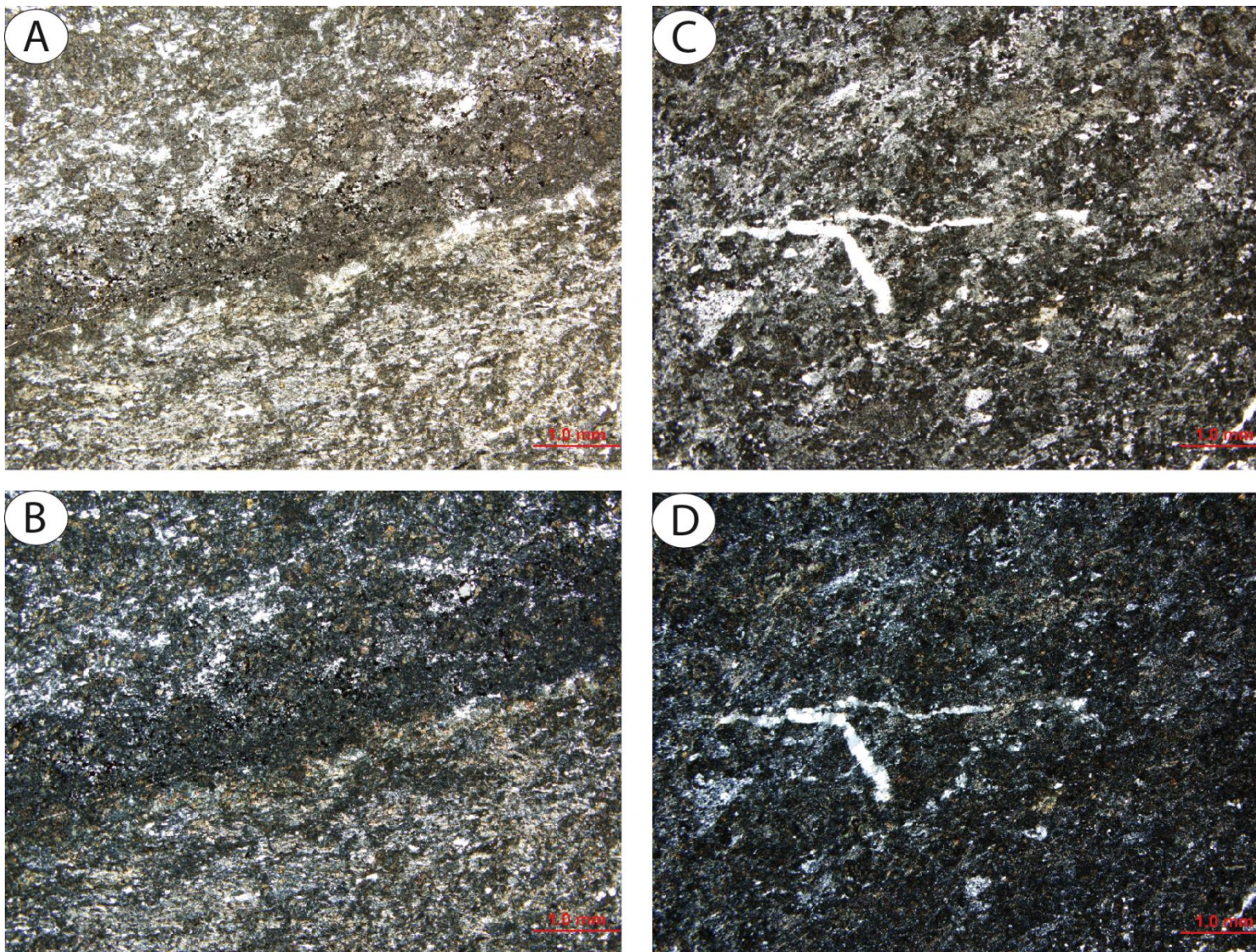
Annexe 5.8 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B5-17 (DFL3).



Annexe 5.9 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon B6-17 (DPA).



Annexe 5.10 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon C3-17 (DFL).



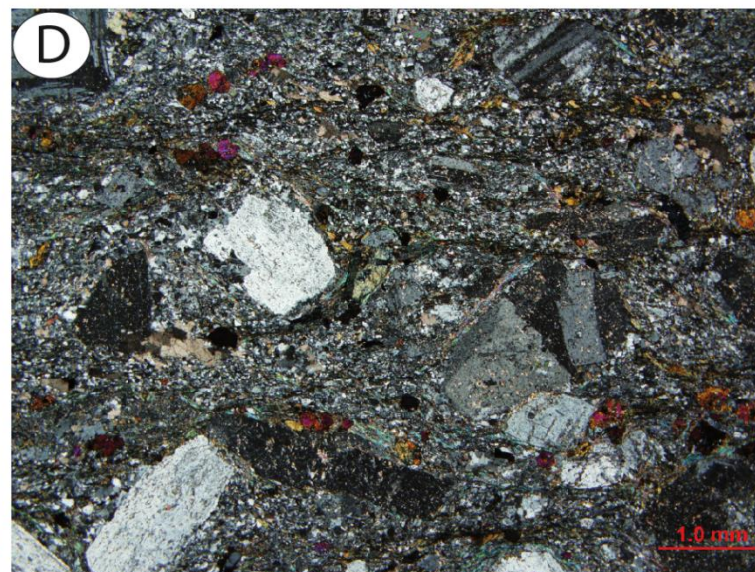
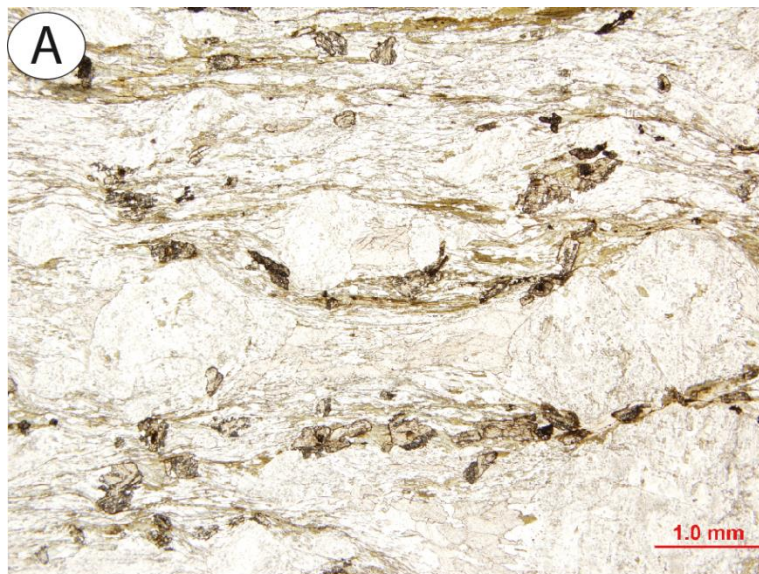
Annexe 5.11 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon C4-17 (Andésite coussinée).



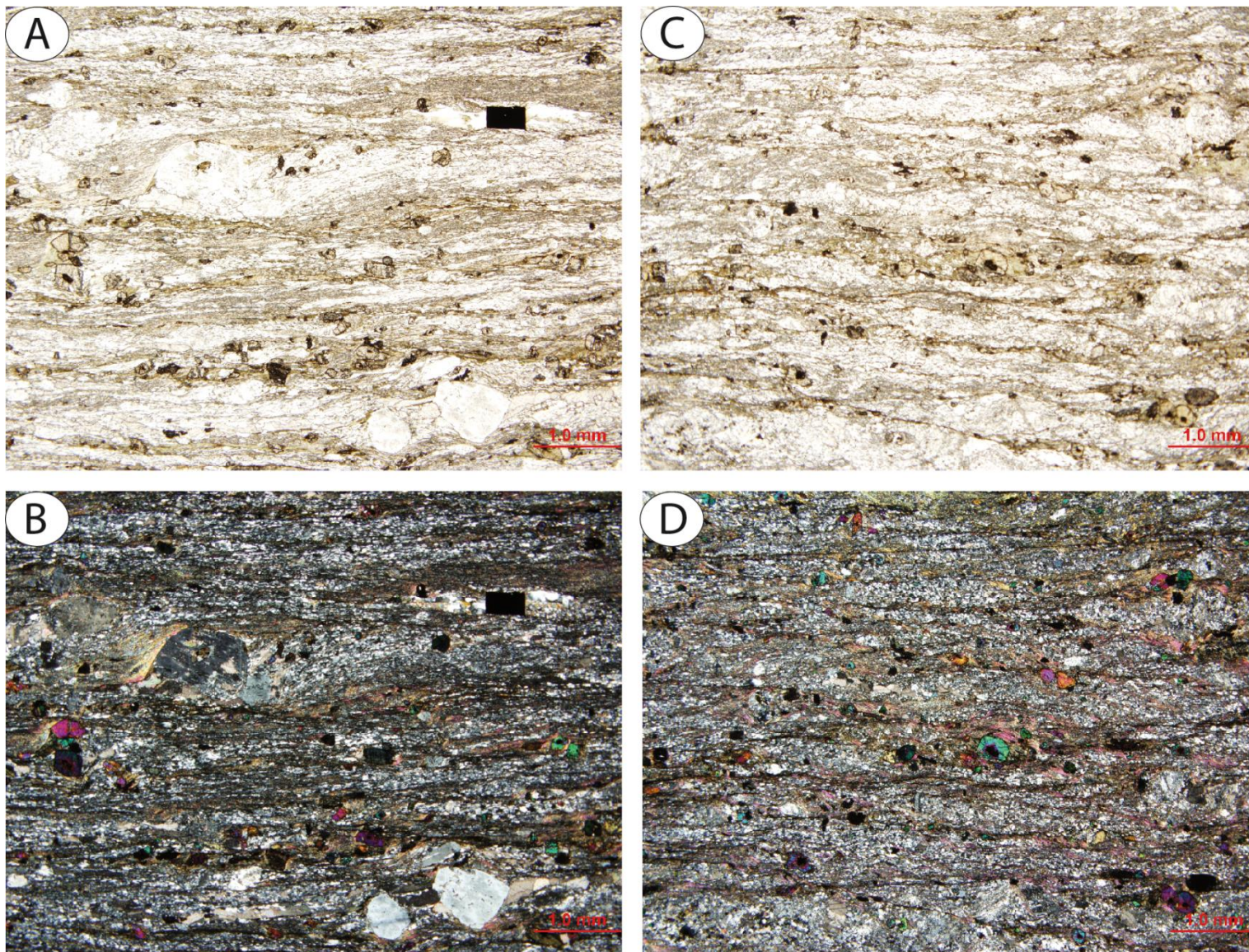
Annexe 5.12 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon C5-17 (Andésite coussinée).



Annexe 5.13 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon C6-17 (DFL).



Annexe 5.14 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon E1-17 (Dyke FP).



Annexe 5.15 : Comparaison des lames A (A et B) et B (C et D) pour l'échantillon E2-17 (Dyke FP).

# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP		# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP
1	A	V	275	75	-		51	B	Sp	252	70	3
2	A	V	240	65	-		52	B	D	55	70	0 ou 1
3	A	V	70	66	-		53	B	Ct	96	82	-
4	A	V	277	70	-		54	B	Fr	350	80	-
5	A	V	270	90	-		55	B	Fr	275	81	-
6	A	Sp	255	68	3,5		56	B	Fr	355	77	-
7	A	Sp	260	67	3,5		57	B	Fr	270	80	-
8	A	Sp	80	NA	3		58	B	Fr	270	80	-
9	A	Sp	230	70	3		59	B	D	220	79	0 ou 1
10	A	Sp	270	80	3		60	B	F	346	79	-
11	A	Sp	270	75	3		61	B	F	285	78	-
12	A	Sp	267	66	4		62	B	F	257	74	-
13	A	Sp	272	75	4		63	B	Fr	79	72	-
14	A	Sp	263	70	2		64	B	Fr	288	60	-
15	A	Sp	270	75	2		65	B	Fr	290	72	-
16	A	Sp	275	70	2		66	B	Fr	295	76	-
17	A	Sp	275	66	2		67	B	Fr	235	75	-
18	A	Sp	278	66	2		68	B	Fr	240	75	-
19	A	Sp	274	65	2		69	B	D	250	80	0 ou 1
20	A	Sp	274	65	2		70	B	Sp	270	76	2
21	A	Sp	276	70	2		71	B	D	275	65	0 ou 1
22	A	Sp	265	72	4		72	B	D	62	65	0 ou 1
23	A	Sp	275	65	4		73	B	D	255	85	0 ou 1
24	A	Sp	277	70	4		74	B	D	260	75	0 ou 1
25	A	Sp	270	67	4		75	B	D	280	81	0 ou 1
26	A	Sp	265	70	4		76	B	D	60	66	0 ou 1
27	A	Sp	270	74	4		77	B	D	82	73	0 ou 1
28	A	Sp	260	78	4		78	B	V	100	77	-
29	A	Lé	333	78	-		79	B	Fr	280	72	-
30	A	Lé	81	23	-		80	B	Fr	250	58	-
31	A	Lé	55	34	-		81	B	D	186	86	0 ou 1
32	A	Lé	85	39	-		82	B	F	270	90	-
33	A	Lé	257	30	-		83	B	V	30	35	-
34	A	Lé	257	21	-		84	B	V	4	55	-
35	A	Lé	87	30	-		85	B	D	277	71	0 ou 1
36	A	Lé	91	9	-		86	B	Sp	270	80	2
37	A	Lé	284	9	-		87	B	Sp	285	80	2 ou 3
38	A	Lé	76	27	-		88	B	D	70	85	0 ou 1
39	A	Lé	78	29	-		89	B	D	0	70	0 ou 1
40	A	F	105	70	-		90	B	D	135	75	0 ou 1
41	A	Dm	190	65	0 ou 1		91	B	D	10	70	0 ou 1
42	A	Dm	145	62	0 ou 1		92	B	F	0	80	-
43	A	D2	275	82	0 ou 1		93	B	F	270	80	-
44	A	D2	270	75	0 ou 1		94	B	F	265	65	-
45	A	D2	270	78	0 ou 1		95	B	F	70	75	-
46	A	D1	270	80	0 ou 1		96	B	F	280	65	-
47	A	D1	280	75	0 ou 1		97	B	V	265	82	-
48	A	D1	270	81	0 ou 1		98	B	X	110	70	-
49	A	D1	275	73	0 ou 1		99	B	D	270	50	0 ou 1
50	B	F	85	60	-		100	B	D	275	60	0 ou 1

# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP		# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP
101	B	D	130	70	0 ou 1		151	B	Sp	275	70	4
102	B	D	10	70	0 ou 1		152	B	Lé	44	68	-
103	B	D	30	55	0 ou 1		153	B	Lé	28	51	-
104	B	D	20	65	0 ou 1		154	B	Lé	69	29	-
105	B	D	0	65	0 ou 1		155	B	Lé	46	66	-
106	B	F	100	70	-		156	B	Lé	52	39	-
107	B	F	110	65	-		157	C	V	132	48	-
108	B	D	245	75	0 ou 1		158	C	V	85	45	-
109	B	D	230	75	0 ou 1		159	C	V	80	23	-
110	B	D	265	80	0 ou 1		160	C	V	100	40	-
111	B	D	175	82	0 ou 1		161	C	V	90	55	-
112	B	F	75	67	-		162	C	V	35	45	-
113	B	F	90	57	-		163	C	V	150	30	-
114	B	F	65	60	-		164	C	V	130	30	-
115	B	F	75	70	-		165	C	V	60	42	-
116	B	F	280	82	-		166	C	Sp	260	82	0
117	B	Sp	265	70	2		167	C	Sp	270	80	2
118	B	D	225	61	0 ou 1		168	C	Sp	262	72	2
119	B	D	235	78	0 ou 1		169	C	Sp	268	79	2
120	B	D	215	80	0 ou 1		170	C	Sp	267	86	2
121	B	D	252	85	0 ou 1		171	C	Sp	272	78	2
122	B	F	115	55	-		172	C	Sp	270	85	2
123	B	Sp	80	70	2		173	C	Sp	270	80	2
124	B	D	210	78	0 ou 1		174	C	Sp	265	69	2
125	B	D	185	75	0 ou 1		175	C	Sp	267	80	2
126	B	D	177	73	0 ou 1		176	C	Sp	265	79	2
127	B	D	240	50	0 ou 1		177	C	Sp	265	81	2
128	B	F	100	52	-		178	C	Sp	257	70	2
129	B	F	120	40	-		179	C	Sp	252	67	2
130	B	D	232	74	0 ou 1		180	C	Sp	267	79	2
131	B	F	100	60	-		181	C	Sp	255	83	2
132	B	V	110	61	-		182	C	Sp	265	80	2
133	B	D	262	72	0 ou 1		183	C	Sp	265	66	2
134	B	D	255	76	0 ou 1		184	C	Sp	275	77	2
135	B	F	285	67	-		185	C	Sp	260	78	2
136	B	Fr	292	70	-		186	C	Sp	265	80	2
137	B	Ct	260	75	-		187	C	Sp	270	75	2
138	B	D	260	73	0 ou 1		188	C	Sp	267	73	2
139	B	F	25	85	-		189	C	Sp	263	85	2
140	B	Fr	275	62	-		190	C	Sp	265	74	2
141	B	Sp	85	70	2		191	C	Sp	276	67	2
142	B	V	15	54	-		192	C	Sp	268	70	2
143	B	Sp	270	70	2 ou 3		193	C	Sp	252	80	2
144	B	Sp	270	72	2 ou 3		194	C	Sp	259	79	2
145	B	Sp	275	65	2 ou 3		195	C	Sp	269	70	2
146	B	Sp	272	68	2		196	C	Sp	264	66	2
147	B	Sp	265	65	2		197	C	Sp	261	73	2
148	B	Sp	275	75	2		198	C	Sp	281	74	2
149	B	Sp	265	65	4		199	C	Sp	261	67	2
150	B	Sp	260	70	4		200	C	Sp	275	82	2

# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP		# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP
201	C	Sp	266	74	2		251	C	D	235	76	0 ou 1
202	C	Sp	274	76	2		252	C	D	30	67	0 ou 1
203	C	Sp	268	78	2		253	C	D	222	65	0 ou 1
204	C	Sp	270	65	2		254	C	D	250	50	0 ou 1
205	C	Sp	89	82	2		255	C	D	80	77	0 ou 1
206	C	Sp	274	71	2		256	C	D	230	75	0 ou 1
207	C	Sp	269	68	2		257	C	D	220	80	0 ou 1
208	C	REF	-	-	-		258	C	D	240	67	0 ou 1
209	C	REF	-	-	-		259	C	D	250	65	0 ou 1
210	C	REF	-	-	-		260	C	D	255	70	0 ou 1
211	C	Lé	77	29	-		261	C	D	75	60	0 ou 1
212	C	Lé	249	21	-		262	C	D	270	76	0 ou 1
213	C	Lé	73	38	-		263	C	D	263	21	0 ou 1
214	C	Lé	257	31	-		264	C	D	275	63	0 ou 1
215	C	Lé	69	28	-		265	C	D	271	73	0 ou 1
216	C	Lé	256	44	-		266	C	D	55	72	0 ou 1
217	C	Lé	80	36	-		267	C	Sp	260	75	3 ou 4
218	C	Lé	269	28	-		268	C	Sp	248	87	3 ou 4
219	C	Lé	247	24	-		269	C	Sp	260	80	4 ou 5
220	C	Lé	247	22	-		270	C	Sp	255	67	4 ou 5
221	C	Lé	271	23	-		271	C	Sp	265	70	4 ou 5
222	C	Fo	75	84	1		272	C	Sp	260	86	4 ou 5
223	C	Dm	18	68	0 ou 1		273	C	Sp	257	66	4 ou 5
224	C	Dm	10	75	0 ou 1		274	C	Sp	250	73	4 ou 5
225	C	Dm	32	65	0 ou 1		275	C	Sp	252	71	4
226	C	Df	67	59	0 ou 1		276	C	Sp	252	87	4
227	C	D	282	63	0 ou 1		277	C	Sp	258	70	3 ou 4
228	C	D	70	71	0 ou 1		278	C	Sp	266	60	4 ou 5
229	C	D	24	73	0 ou 1		279	C	Sp	255	81	3 ou 4
230	C	D	25	79	0 ou 1		280	C	Sp	270	80	4 ou 5
231	C	D	25	71	0 ou 1		281	C	Sp	255	75	4
232	C	D	20	71	0 ou 1		282	C	Sp	262	64	3
233	C	D	27	58	0 ou 1		283	C	Sp	268	63	4 ou 5
234	C	D	230	70	0 ou 1		284	C	Sp	270	85	4 ou 5
235	C	D	50	80	0 ou 1		285	C	Sp	263	80	4
236	C	D	17	60	0 ou 1		286	C	Sp	95	74	3 ou 4
237	C	D	27	60	0 ou 1		287	C	Sp	285	87	4 ou 5
238	C	D	268	60	0 ou 1		288	C	Sp	265	87	5
239	C	D	242	51	0 ou 1		289	C	Sp	92	83	5
240	C	D	62	80	0 ou 1		290	C	Sp	265	75	4 ou 5
241	C	D	77	78	0 ou 1		291	C	Sp	270	72	5
242	C	D	265	73	0 ou 1		292	C	Sp	270	75	4
243	C	D	240	76	0 ou 1		293	C	Sp	88	80	3
244	C	D	270	72	0 ou 1		294	C	Sp	275	84	4
245	C	D	217	80	0 ou 1		295	C	Sp	272	76	4 ou 5
246	C	D	70	66	0 ou 1		296	C	Sp	267	72	4
247	C	D	45	83	0 ou 1		297	C	Sp	260	88	4 ou 5
248	C	D	75	86	0 ou 1		298	C	Sp	280	88	4
249	C	D	60	70	0 ou 1		299	C	Sp	100	80	4
250	C	D	67	67	0 ou 1		300	C	Sp	272	85	5

# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP		# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP
301	C	Sp	256	80	5		351	C	Sp	275	79	3
302	C	Sp	92	70	3		352	C	Sp	265	77	3
303	C	Sp	265	80	4 ou 5		353	C	Sp	265	85	2 ou 3
304	C	Sp	95	75	4		354	C	Sp	270	75	4
305	C	Sp	263	74	3		355	C	Sp	274	65	4 ou 5
306	C	Sp	266	72	4		356	D	V	330	88	-
307	C	Sp	257	79	3		357	D	V	310	50	-
308	C	Sp	260	81	3 ou 4		358	D	V	80	65	-
309	C	Sp	255	75	3		359	D	V	90	62	-
310	C	Sp	245	78	4		360	D	V	220	84	-
311	C	Sp	260	79	4		361	D	V	235	80	-
312	C	Sp	270	79	3 ou 4		362	D	V	40	70	-
313	C	Sp	270	71	3 ou 4		363	D	Lé	258	16	-
314	C	Sp	258	88	3 ou 4		364	D	Lé	265	20	-
315	C	Sp	268	71	3 ou 4		365	D	Lé	268	16	-
316	C	Sp	275	77	3 ou 4		366	D	Lé	254	31	-
317	C	Sp	267	78	4		367	D	Lé	265	15	-
318	C	Sp	260	75	4		368	D	Lé	253	28	-
319	C	Sp	277	70	3 ou 4		369	D	Lé	251	18	-
320	C	Sp	256	63	3		370	D	Lé	262	33	-
321	C	Sp	245	74	3		371	D	Lé	245	23	-
322	C	Sp	265	88	4		372	D	Lé	89	42	-
323	C	Sp	257	74	3		373	D	Lé	241	63	-
324	C	Sp	274	85	4 ou 5		374	D	Lé	209	62	-
325	C	Sp	270	75	3 ou 4		375	D	Lé	186	71	-
326	C	Sp	265	79	4		376	D	Fo	60	75	1
327	C	Sp	262	68	3 ou 4		377	D	Fo	55	80	1
328	C	Sp	268	78	4		378	D	Df	315	75	0 ou 1
329	C	Sp	265	78	3 ou 4		379	D	Sp4	80	75	3
330	C	Sp	280	70	4		380	D	Sp4	90	80	3
331	C	Sp	268	75	3 ou 4		381	D	Sp3	90	70	4
332	C	Sp	265	73	4		382	D	Sp3	95	70	4
333	C	Sp	267	65	3		383	D	Sp3	94	70	4
334	C	Sp	273	82	4		384	D	Sp2	90	65	3
335	C	Sp	273	80	3 ou 4		385	D	Sp2	100	65	3
336	C	Sp	263	75	4		386	D	Sp2	95	65	3
337	C	Sp	266	63	3 ou 4		387	D	Sp1	85	70	3 ou 4
338	C	Sp	268	80	3 ou 4		388	D	Sp1	85	74	3 ou 4
339	C	Sp	261	76	4		389	D	Sp1	85	70	3 ou 4
340	C	Sp	260	85	4 ou 5		390	E	V	60	32	-
341	C	Sp	265	80	3 ou 4		391	E	V	33	99	-
342	C	Sp	264	82	4 ou 5		392	E	V	55	24	-
343	C	Sp	263	75	3		393	E	V	5	99	-
344	C	Sp	280	75	4		394	E	V	140	99	-
345	C	Sp	275	75	3		395	E	V	9	26	-
346	C	Sp	268	80	3 ou 4		396	E	v	55	31	-
347	C	Sp	260	85	4		397	E	Sp	95	65	4
348	C	Sp	285	80	3 ou 4		398	E	Sp	95	62	4
349	C	Sp	272	76	3		399	E	Sp	110	65	4
350	C	Sp	275	80	3		400	E	Sp	110	70	4

# Station	Affleurement	Type	Direction	Pendage	IAP
401	E	Sp	90	55	2 ou 3
402	E	Sp	100	70	2 ou 3
403	E	Sp	110	63	3
404	E	S2	85	65	2
405	E	S2	60	73	2
406	E	S2	85	55	2
407	E	Lé	104	18	-
408	E	Lé	116	14	-
409	E	Lé	102	13	-
410	E	Lé	117	19	-
411	E	Fo	35	70	1
412	E	Fo	60	75	1
413	E	Fo	40	75	1
414	E	Fo	45	80	1
415	E	Fo	276	70	1
416	E	Fo	265	70	1
417	E	F	40	65	-
418	E	F	200	65	-
419	E	F	160	55	-
420	E	D	210	60	0 ou 1
421	E	D	180	75	0 ou 1
422	E	Ct	195	60	1
423	E	Sp	100	65	2
424	E	Sp	95	60	2

